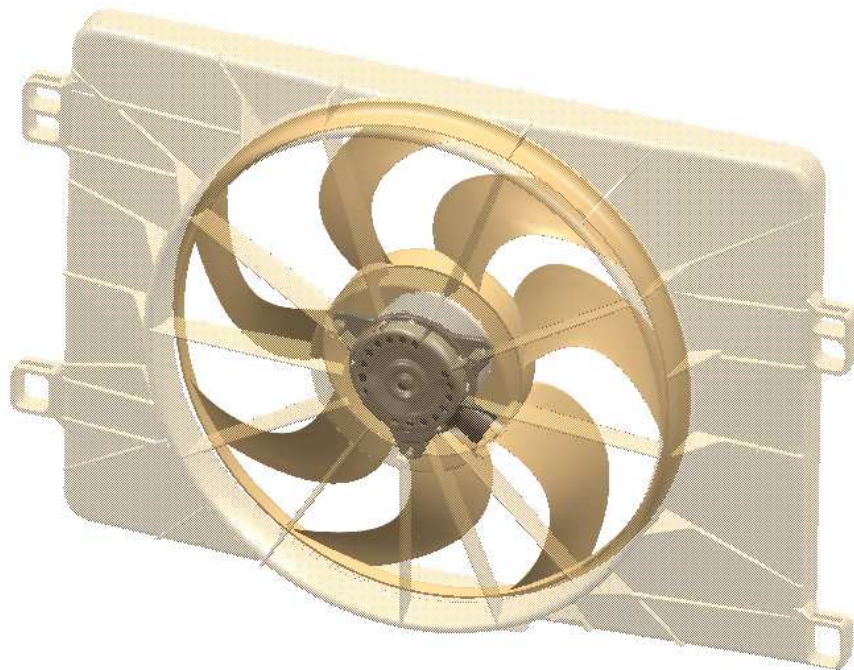


Proyecto de final de carrera

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE UN GRUPO MOTO-VENTILADOR DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL AUTOMÓVIL



Autor: Miguel Rigo García

Director: Inma Ortigosa

Ingeniería Técnica Naval en Propulsión y Servicios del Buque

Febrero, 2011

No quisiera concluir este proyecto sin antes agradecerle especialmente a mis compañeros de trabajo de Nidec, Guillem, Julien, Joan, Ramón, Carles, Francois y compañía el haberme ayudado y guiado durante todos estos meses con sus conocimientos a la hora de realizar este proyecto con éxito. De igual modo también quisiera agradecerle a Inma su soporte y su tiempo para conseguir hacer un bueno proyecto y haberme guiado en todo momento.

Índice

1	Introducción.	7
1.1	Problemática medioambiental. Normas Euro 5 y Euro 6.	8
1.1.1	Norma Euro 5:	9
1.1.2	Norma Euro 6:	10
1.2	Situación del mercado a nivel global.	10
1.2.1	Análisis situación en Europa a corto plazo:	12
1.2.2	Análisis situación en Europa a largo plazo:	14
2	Presentación del GMV de un automóvil.....	16
2.1	Motor Eléctrico.	20
2.1.1	Motor Brushless (BLDC):	24
2.1.2	Motor Brush (BDC):	25
2.2	Ventilador.....	27
2.2.1	Hub:	27
2.2.2	Palas:.....	28
2.2.3	Anillo exterior:	28
2.3	Soporte.	28
2.4	Sistema de restricción de caudal.....	30
3	Requisitos del cliente para nuestro diseño.	33
3.1	Características principales del GMV.	33
3.2	Ensayos a realizar.	35
3.2.1	Ensayos aerodinámicos.....	35
4	Análisis para-métrico de los componentes.	39
4.1	Ventilador.....	39
4.1.1	Hub.....	39
4.1.1.1	Dimensión axial del hub.	39
4.1.1.2	Diámetro del hub.	40
4.1.1.3	Estructura interior.	41
4.1.2	Palas.....	41
4.1.2.1	"Borde de entrada" y "borde de salida".	41
4.1.2.2	Superficie superior de las palas.	42
4.1.2.3	Angulo de barrido (β).	43
4.1.2.4	Ángulo entre palas (γ).	43

4.1.2.5	Número de palas.	44
4.1.2.6	Solidez de las palas	44
4.1.2.7	Ancho de la pala.	45
4.1.2.8	Perfil de la pala.	45
4.1.2.9	Longitud cuerda.	46
4.1.2.10	Arqueo	47
4.1.2.11	Ángulo de ataque	47
4.1.2.12	Angulo de calado	48
4.1.2.13	Distribución de espesor	49
4.1.2.14	Espesor máximo	49
4.1.3	Anillo exterior.	49
4.2	Soporte.	50
4.2.1	Zona de montaje del motor.	51
4.2.2	Estructura soporte motor.	51
4.2.2.1	Estructura con perfil alar.	52
4.2.2.2	Estructura simple.	52
4.2.3	Zona interferencia ventilador-soporte.	53
4.2.4	Otros elementos del soporte.	53
4.3	Parámetros que influyen en la generación de ruido.	54
5	Materiales utilizados en la fabricación de ventiladores y soportes.	56
5.1	PA 6 + 30% FV.	56
5.2	PA66 + 30%FV.	57
5.3	PA66 + 38% FV + Minerales.	57
5.4	PP + 30%FV.	57
6	Sistemas de conexión entre ventilador-motor-soporte.	58
6.1	Montaje motor-ventilador.	58
6.1.1	Unión con M-plat.	58
6.1.2	Unión a presión	59
6.1.3	Unión mediante "drive-plate".	60
6.2	Montaje Motor-soporte.	61
6.2.1	Sujeción mediante tres tornillos.	61
6.2.2	Sujeción mediante un tornillo y dos ranuras.	62
7	Simulación realizada con el CFD SC/Tetra.	63
7.1	Introducción al CFD SC/TETRA.	63

7.1.1 Fluidos compresibles e incompresibles.....	66
7.1.2 Flujo laminar e flujo turbulento.....	66
7.1.3 Modelo turbulento.....	67
7.1.4 Numero de Reynolds.....	68
7.1.5 Análisis estático y análisis transitorio.....	69
7.1.6 Método de los volúmenes finitos.....	69
7.2 Diseño del modelo en CAD.....	70
7.3 Creación del mallado del modelo.....	71
7.4 Condiciones de análisis.....	74
8 Diseño final y estudios realizados.....	76
8.1 Características del GMV.....	77
8.2 Estudios aerodinámicos del ventilador.....	77
8.2.1 Datos aerodinámicos del ventilador 1.....	77
8.2.2 Datos aerodinámicos del ventilador 2.....	78
8.2.3 Datos aerodinámicos del ventilador 3.....	81
8.2.4 Datos aerodinámicos del ventilador final.....	83
8.3 Diseño de los refuerzos interiores del hub.....	85
8.3.1 Estudio de los parámetros de los refuerzos.....	85
8.3.1.1 Prueba 1 y 2.....	86
8.3.1.2 Prueba 3.....	89
8.3.2 Optimización de los refuerzos:.....	91
8.3.3 Simulación del flujo dentro del motor eléctrico.....	94
8.4 Simulaciones de inyección.....	97
8.5 Calculo estructural.....	98
8.5.1 Cálculo estructural del ventilador.....	98
8.5.2 Calculo estructural del soporte.....	99
9 Conclusión.....	102
10 Ilustraciones, tablas, ecuaciones y gráficas.....	103
10.1 Ilustraciones.....	103
10.2 Tablas.....	106
10.3 Fórmulas.....	106
10.4 Gráficas.....	107
11 Bibliografía.....	108
11.1 Libros.....	108



11.2 Pàgines web	110
11.3 Altres documents.....	110

1 Introducció.

En este proyecto se va analizar y realizar el diseño de una parte del sistema de refrigeración del automóvil. Especialmente se centrará en el ventilador del radiador y el soporte de éste, a este conjunto más el motor eléctrico que mueve el ventilador se le conoce como "GMV".

En la primera parte del proyecto se realizará una introducción de los dos factores que actualmente influyen en la automoción y por consiguiente en el objetivo del diseño, que son la situación económica del mercado automovilístico y el factor medioambiental.

No tenemos que olvidar que aunque realice un proyecto de I+D se debe de tener en cuenta el resto de factores, porque además de ser un buen diseño a nivel de ingeniería también debe cumplir con unos requisitos de coste, transporte, facilidad de montaje y demás factores que influirán en la validez del diseño final. Todos estos factores van a influenciar activamente en el diseño y alguno de ellos de una manera muy decisiva. Otro punto muy importante es la capacidad para poder trabajar en equipo y ser capaz de coordinar el diseño, porque a la vez que se realiza dicho trabajo se ha de ser capaz de coordinar otros departamentos, como por ejemplo:

- Departamento de compras: ellos son los encargados de comprar y negociar el precio del material, encontrar diferentes proveedores, asegurar que cumplan la calidad que necesitamos...
- Departamento de ventas: Son los encargados de vender el producto que nosotros diseñamos y también de hacer de conexión con el cliente. Ellos realizan los estudios del mercado y analizan en que direcciones se mueve éste.
- Departamento de métodos: A la hora de hacer el diseño es muy importante pensar en cómo se va a fabricar y también en cual va a ser su secuencia de montaje, ya que esto influirá mucho tanto en el coste de montaje como en el coste de la línea de montaje. Es muy importante apoyarse en este departamento para encontrar la solución óptima.
- Departamento de logística: También es necesario tener previsto cómo se van a realizar el envío de las piezas terminadas, debido a que dependiendo del empaque del producto el transporte puede ser muy caro. Por ejemplo, algunas veces es más económico ensamblar el producto en una planta cercana al cliente, que directamente en el lugar donde se fabrica por cuestiones de transportes.

- I+D: Dentro del mismo departamento también se necesitará la ayuda de diferentes subdepartamentos como son laboratorio, prototipos, oficina técnica por poner un ejemplo.

Todo esto sirve para hacernos una idea que al desarrollar un proyecto en una empresa grande hay muchas cosas que debemos tener en cuenta, no sólo el apartado técnico. También hay que diferenciar entre diseñar un producto para una fabricación en serie o un producto para fabricar un pequeño número de piezas, debido a que para una fabricación en serie es muy importante tener en cuenta aspectos como el coste de transporte, de la línea de montaje o el tiempo necesario para fabricar cada pieza.

Una vez hecha la introducción acerca del tipo de empresa en el que se desarrollará este producto voy a presentar los dos factores que he comentado previamente y que considero muy importantes:

1.1 Problemática medioambiental. Normas Euro 5 y Euro 6.

Actualmente hay una gran concienciación por parte de la humanidad por el medioambiente, lo cuál tiene su reflejo en la tecnología. Uno de los principales problemas medioambientales que afectan al planeta es el Efecto Invernadero.

"Efecto Invernadero: Es el fenómeno por el cual determinados gases, que son componentes de la atmosfera del planeta, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación del sol. El efecto invernadero es necesario para el planeta, ya que si este no existiera, la temperatura global del planeta seria de unos 33º grados menos, lo cual haría la vida imposible en la Tierra. El problema viene porque el hombre está acentuando ese proceso natural del planeta, lo que provoca un calentamiento global no natural. Esto se debe en gran medida a la emisión a la atmosfera de los siguientes gases:

- Dióxido de carbono CO₂
- Óxidos de Nitrógeno
- Clorofluorocarbonos (CFCs).

EL CO₂ es el mas importante ya que es aproximadamente un 80 % de las emisiones de gases que provocan efecto invernadero."

Según el Informe Stern que estudió el impacto del cambio climático y el calentamiento global en la economía mundial. El 14% de la emisión de CO₂ a la atmosfera se debe al transporte, convirtiéndose este en el segundo sector de la

Unión Europea que más emisiones produce. Estas emisiones se deben principalmente a la combustión producida en el interior del motor térmico. Dichas emisiones al margen de contribuir al cambio climático también son muy perjudiciales para la salud, pudiendo provocar cáncer, asma o irritar las vías respiratorias entre otros.

Por este motivo en 1995 la Comisión Europea adoptó una estrategia para reducir las emisiones de CO₂ producidas por los automóviles que se basaba en 3 pilares: compromisos por parte de los fabricantes a reducir emisiones, mejor información a los consumidores y la promoción de vehículos no contaminantes mediante medidas fiscales.

A partir de ese momento diferentes asociaciones de fabricantes de automóviles, como ACEA (Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles), se comprometieron a reducir las emisiones en sus futuros vehículos. En el caso de ACEA se comprometió a reducir hasta 140g de CO₂/Km. para el año 2008.

En Enero de 2005 se aplicó la norma Euro 4, que limitaba las emisiones de CO₂ por parte de los automóviles.

En 2007 se creó *el Reglamento CE nº 715/2007* del Parlamento Europeo sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Normas Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y mantenimiento de los vehículos.

1.1.1 Norma Euro 5:

Emisiones procedentes de coches diesel:

- Monóxido de Carbono: 500mg/Km.
- Partículas: 5mg/Km. o reducir un 80% respecto la norma Euro 4.
- Óxidos de nitrógeno: 180 mg/Km. o reducir un 20% respecto la norma Euro 4.
- Emisiones combinadas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno: 230 mg/Km.

Emisiones procedentes de coches de gasolina o gas natural:

- Monóxido de Carbono: 1000 mg/Km.
- Partículas: 5mg/Km. (solo para coches de gasolina de inyección directa).
- Óxidos de nitrógeno: 60 mg/km o reducir un 25% respecto la norma Euro 4.
- Hidrocarburos totales: 100 mg/Km.
- Hidrocarburos no metanos: 68 mg/Km.

La norma Euro 5 es aplicable desde el 1 de septiembre de 2009 en lo que respecta a la homologación, y del 1 de enero de 2011 en lo que respecta a la matriculación y venta de las nuevas clases de vehículos.

1.1.2 Norma Euro 6:

Todos los vehículos con motor diésel deberán reducir considerablemente las emisiones de óxidos de nitrógeno a partir de la entrada en vigor de esta norma. Las emisiones de los coches y de otros vehículos de transporte se limitarán a 80 mg/Km., esto representa una reducción de más de un 50% respecto a la norma Euro 5. Las emisiones combinadas de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno se limitarán a 170 mg/Km.

La norma Euro 6 será aplicable a partir del 1 de septiembre de 2014 en lo que respecta a la homologación, y del 1 de septiembre de 2015 en lo que respecta a la matriculación y venta de las nuevas clases de vehículos

Estas normas se aplican a vehículos cuya masa de referencia no supera los 2610 Kg. Esto incluye a coches particulares, camionetas y vehículos comerciales destinados tanto al transporte de pasajeros o mercancías como a algunos de usos especiales, como pueden ser las ambulancias, así como si son vehículos diesel o gasolina. Los valores límite de las emisiones de los automóviles incluyen las emisiones de escape, las de evaporación y las de cárter del motor.

Estas restricciones en las emisiones de los automóviles influyen mucho en el diseño del sistema de refrigeración del automóvil, debido a que nos obliga a realizar un diseño mucho más eficiente. Debemos asegurar que el motor térmico trabaje siempre a una temperatura óptima, utilizando un GMV que consuma el mínimo de energía posible pero asegurando el caudal requerido para conseguir la temperatura óptima del líquido de refrigeración.

1.2 Situación del mercado a nivel global.

Una vez superada la crisis económica mundial se prevé un crecimiento en las ventas de automóviles. Este crecimiento es más visible tanto en Europa como en Asia, este último es el mercado más emergente de los últimos años.

Según estudios realizados por expertos del sector del automóvil podemos saber lo siguiente:

En el año 2010 se han vendido 76 millones de automóviles en todo el mundo, que se reparten de la siguiente manera:

- Europa: 23 millones
- America: 20 Millones
- Asia: 33 millones (la mayoría son coches de lujo o low cost)
- África: 700.000

Para el año 2014 se estima que se vendan 85 millones de coches en todo el mundo, repartidos de la siguiente manera:

- Europa: 26 millones
- America: 21 millones
- Asia: 38 millones
- África: 700.000 unidades.

Como hemos podido ver se espera que en 4 años se vendan 9 millones más de coches en todo el mundo. En Europa, que es el mercado donde se centra el estudio, el aumento es de 3 millones de vehículos en 4 años.

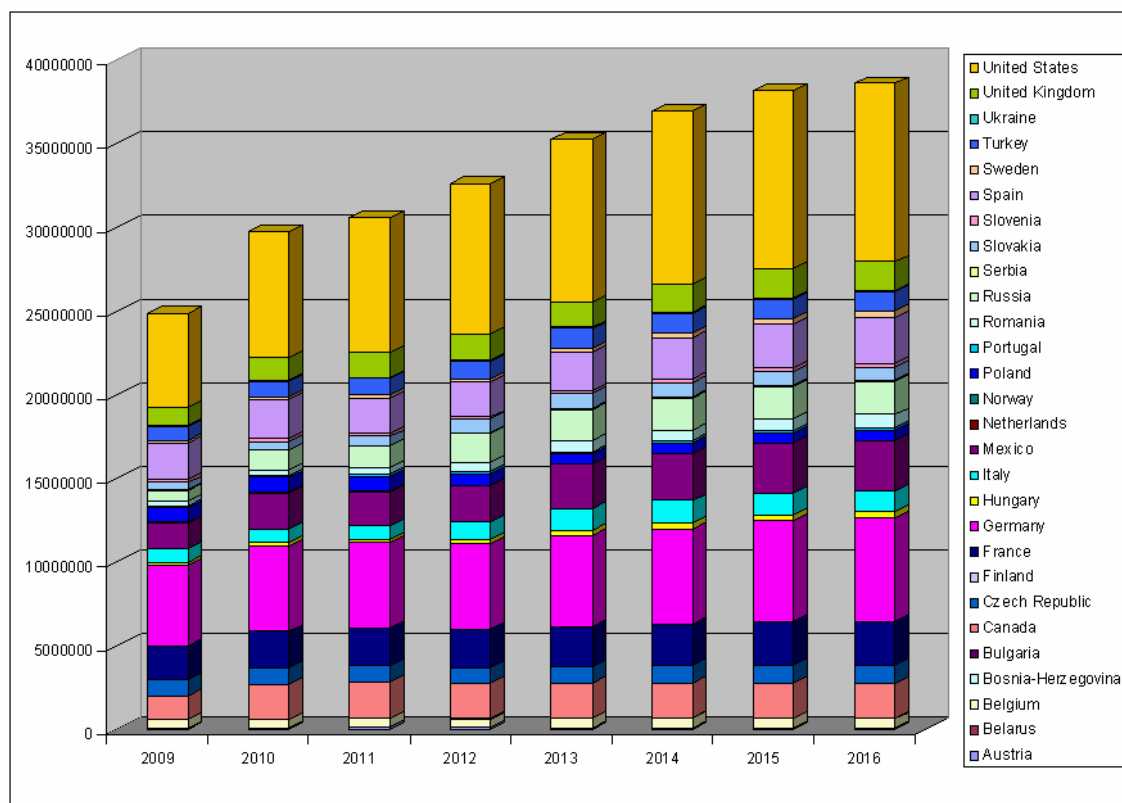


Ilustración 1 : Estimación ventas de automóviles

Centrándonos en el sistema de refrigeración del motor principal, GMV, actualmente tenemos la siguiente división dependiendo del tipo de motor eléctrico que utilizan:

- De los 76M de coches, el 90% tiene un motor con escobillas o "Brush" en su sistema de refrigeración por un 10% que utiliza un motor sin escobillas o "Brushless".
- La previsión para el 2014 es que el 25% de los automóviles lleven motores Brushless en su sistema de refrigeración por un 75% con motores Brush convencionales.

Esto indica que cada vez hay una tendencia mayor a aplicar este tipo de motores, que aunque tienen un coste mas elevado, proporcionan una eficiencia mucho mayor del sistema de refrigeración.

Después de hacer esta introducción a nivel mundial del sector del automóvil, se verá un análisis más exhaustivo a nivel europeo, tanto a corto como largo plazo. También se mostrará hacia que tipo de vehículos se dirige el mercado y en que zonas de Europa se van a fabricar. Esto es muy importante porque dependiendo de esto las grandes marcas fijan sus estrategias de diseño, en las que el objetivo de este proyecto esta incluido.

Los diferentes tipos de coches son:

- Tipo A: Son coches "low cost". Ejemplo: Dacia, Renault Clio...
- Tipo B: Son coches de calidad normal. Ejemplo: SEAT Ibiza, Opel Astra...
- Tipo C: Son coches de calidad medio-alta: Ejemplo: Audi A3, WV Golf...
- Tipo D: Son coches de alta calidad: Ejemplo: Audi A4, BMW serie 3...
- Tipo E: Son coches de lujo. Ejemplo: Audi A7, Jaguar XJ...

1.2.1 Análisis situación en Europa a corto plazo:

En Europa se espera para este año 2010 una subida del 7.8% respecto al 2009, si bien este crecimiento se debe principalmente a un aumento de la actividad en el primer semestre del año. Uno de los principales motivos es la exportación de vehículos de primera calidad fuera de Europa, que sigue teniendo un impacto muy positivo.

En el segundo semestre del año se prevé que haya una notable bajada de ventas debido a que la confianza a superar la crisis por parte de los compradores se ve afectada por la crisis que atraviesa Grecia. También tiene un factor negativo la eliminación por parte de los gobiernos de las ayudas para adquirir coches.

En Europa Occidental ha habido un crecimiento del 23.6% en el primer trimestre con respecto al 2009 aunque para el segundo trimestre se esperan que disminuya el volumen. Los principales argumentos de esta zona de Europa son la fabricación de

coches tipo B y C, aunque se prevé una bajada para finales del 2010. Un sector en auge es el tipo E.

Para Europa central se espera una subida del 13.4% gracias a la aportación del tipo B, como pueden ser Skoda o el Opel Astra.

En Europa del Este se encuentra el mayor aumento de producción, en especial en Rusia que sube un 59.1%, mientras Turquía sigue siendo el país con más producción en esta parte del continente.

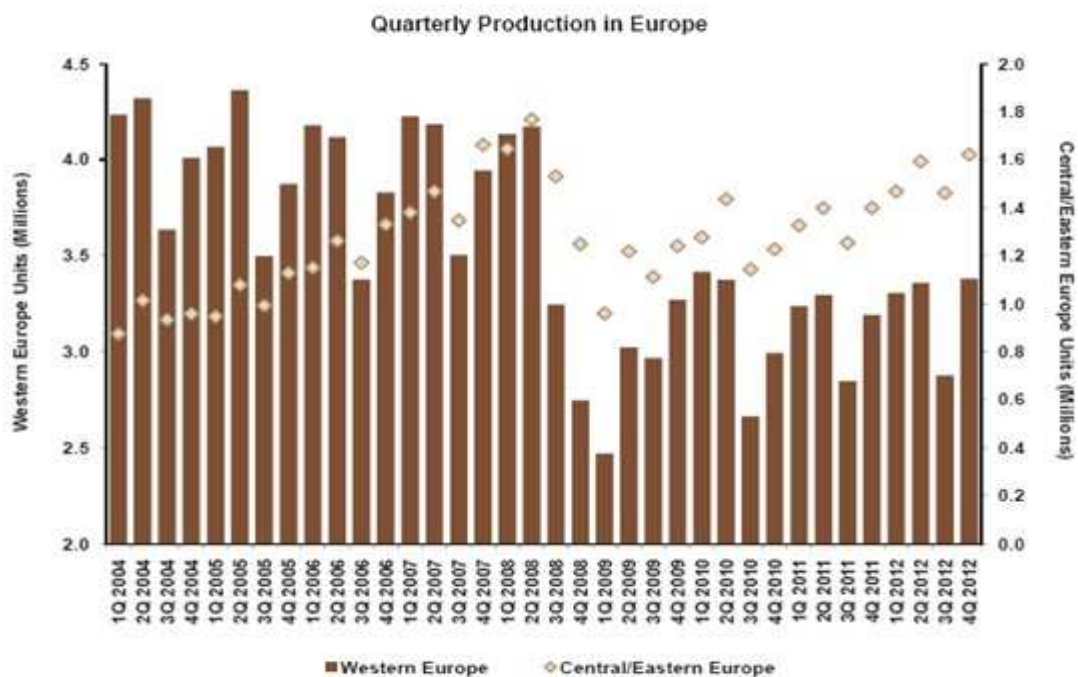


Ilustración 2: Previsión ventas en Europa a corto plazo

Si nos fijamos en los diferentes tipos de automóviles la evolución es la siguiente en cuanto a ventas:

- Tipo A: Disminuye un 1.5% y todavía se espera que disminuya mas.
- Tipo B: Ha habido un crecimiento de un 16.4% gracias a las ayudas de financiación, pero se espera que bajen las ventas en cuanto se eliminen estas ayudas para dejar un crecimiento de un 1.5%.
- Tipo C: En la primera parte del 2010 ha sufrido un crecimiento de un 21.9% aunque muestra un crecimiento anual de un 5%.
- Tipo D: Este segmento sufrirá un crecimiento de un 4.4%, sobretodo gracias a la exportación fuera de Europa de este tipo de automóviles.

- Tipo E: Dicho segmento sufrirá el mayor crecimiento, de un 34% anual, gracias a la exportación a Asia, Oriente Medio y Estados Unidos.

Dicho esto, de cara al año 2011 se estima que el volumen de ventas crezca en Europa un 2.4% respecto al 2010. Este aumento estará soportado gracias a la exportación de vehículos de clase alta (D y E) fuera de Europa. Las clases medias (A, B, C) seguirán muy restringidas por culpa de la crisis.

1.2.2 Análisis situación en Europa a largo plazo:

A largo plazo se espera haya un crecimiento progresivo del mercado automovilístico. Para el año 2012 se espera haya un crecimiento de un 6.2%, siguiendo el crecimiento moderado del 2011. A partir del 2012 se prevé una estabilización del sector más estable y progresivo, una vez se empiece a superar la crisis. No será hasta el 2015 donde consigamos unos volúmenes iguales al tiempo anterior a la crisis (2007), llegando en 2016 a unos valores máximos de ventas.

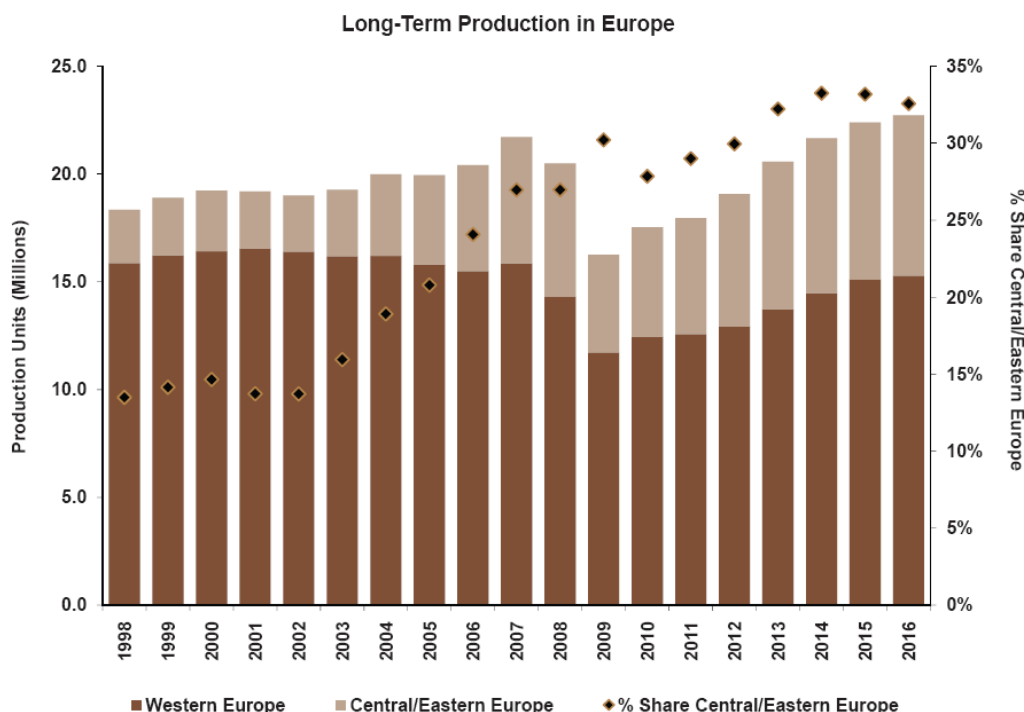


Ilustración 3 : Previsión ventas en Europa a largo plazo

En Europa Occidental se espera que se recupere una parte del volumen, pero sin llegar al nivel de los años 2000-2004 donde tuvo unos máximos históricos. Ese

crecimiento se deberá en gran parte a la venta del sector B y C. La agresiva entrada de China en este sector frenará este crecimiento, sobretodo en la fabricación de grandes volúmenes.

La zona de Europa central será posiblemente la que se vea más afectada, debido principalmente a dos factores: los esfuerzos por mantener los volúmenes en Europa Occidental y la fuerza con la que emerge el mercado en Europa Oriental.

En Europa del Este se dará el mayor crecimiento dentro de Europa, llegando a un 8.6% en 2016. Este crecimiento será más notable en países como Rusia o Turquía.

Este entorno que se dibuja actualmente hará cambiar la estrategia de diseño a seguir por los fabricantes. Éstos van a tener una tendencia a estandarizar la mayor parte de componentes posibles para sus diferentes tipos de vehículos, y uno de estos componentes que en la medida de lo posible deberán poder montarse en diferentes clases de vehículos es el sistema de refrigeración. Esto influye en gran medida a la hora de realizar el diseño del GMV, ya que antes se realizaba el diseño para un determinado punto de funcionamiento y se optimizaba el diseño para tal. En este nuevo entorno se debe realizar diseños más flexibles, que tengan un rendimiento óptimo para diferentes puntos de funcionamiento.

2 Presentación del GMV de un automóvil.

El sistema de refrigeración del automóvil tiene como objetivo mantener la temperatura del motor en un rango óptimo para su funcionamiento. De ello dependerá en gran medida el rendimiento de éste así como de los lubricantes del motor, ya que a partir de una temperatura pierden parte de sus propiedades. El sistema de refrigeración consta de dos partes, una es el grupo del intercambiador de calor que contiene el radiador, el condensador de aire acondicionado y el enfriador del turbo, en el caso que lleve.



Ilustración 4 : Clasificación energía

La otra parte es el grupo moto-ventilador o GMV que cuenta con estos elementos: ventilador, motor eléctrico y soporte.

Funcionamiento: Debido a las altas temperaturas a las que trabaja un motor térmico es necesario disponer de un sistema capaz de refrigerarlo en el momento en que éste sobrepase una temperatura predefinida por el fabricante. Esta refrigeración se realiza mediante un circuito de agua cerrada que absorbe el calor del motor. Posteriormente se hace pasar esta agua por el radiador donde el agua disipa el calor con la ayuda de unas aletas que proporcionan una mayor superficie para la convección. Este paso se realiza sin problemas con el coche en funcionamiento, gracias a la velocidad del mismo, que hace que pase suficiente aire a través del radiador, pero, ¿qué ocurre cuando el coche está parado? ¿O circula a una velocidad muy lenta, por ejemplo en un atasco? .En estos casos necesitamos forzar una circulación de aire a través del radiador para producir esa disipación de calor del agua. Esta circulación forzada la provocamos mediante el GMV para así conseguir una transferencia de calor del fluido caliente, que es el líquido de refrigeración, al fluido frío, el aire.

En la actualidad hay dos configuraciones básicas de GMV, que depende de la posición que ocupan respecto al radiador, son las siguientes:

- **Soplantes:** El GMV está situado delante del radiador, es decir que el ventilador sopla el aire hacia el radiador. Tiene como principal ventaja que el GMV no debe trabajar a temperaturas tan altas, ya que está más alejado del motor térmico.

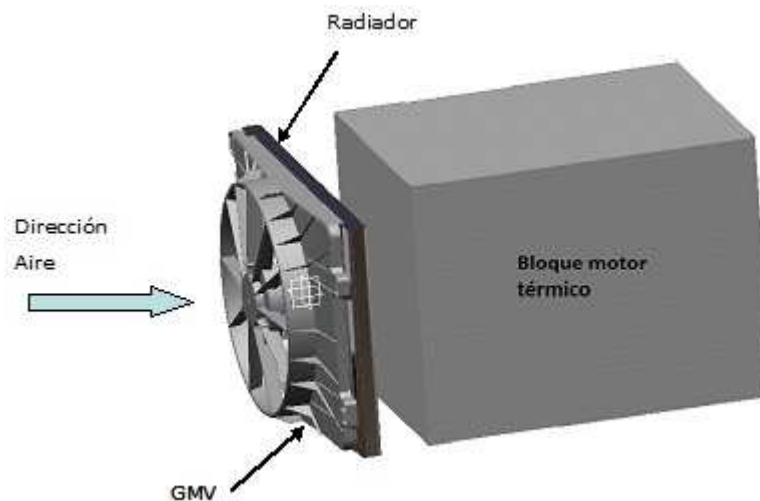


Ilustración 5 : GMV soplante

Su mayor inconveniente es que obstruye la circulación natural a través del radiador provocando una pérdida de rendimiento del sistema de refrigeración.

- **Aspirantes:** En este caso el GMV está situado entre el radiador y el motor térmico, por lo tanto el ventilador aspira aire a través del radiador. Esta configuración es la más utilizada aunque el principal inconveniente es que el GMV está sometido a una gran temperatura provocada por el motor térmico. Por lo tanto el comportamiento de los materiales a elevadas temperaturas se convierte en un punto crítico.

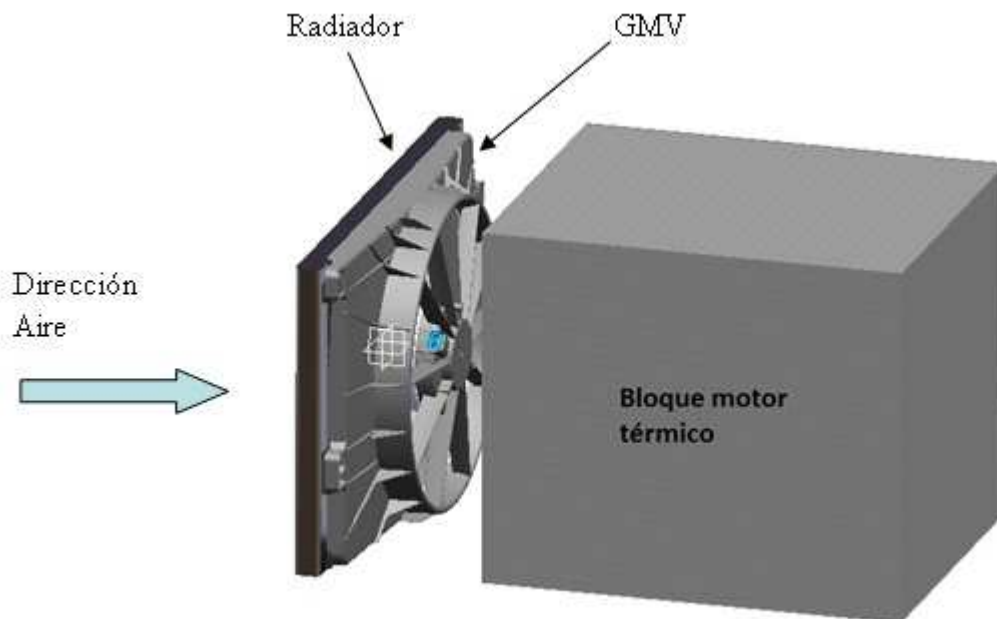


Ilustración 6 : GMV aspirante

También podemos dividirlos según si tienen uno o dos ventiladores:

- GMV Dual: Tiene dos ventiladores con sus correspondientes motores eléctricos.

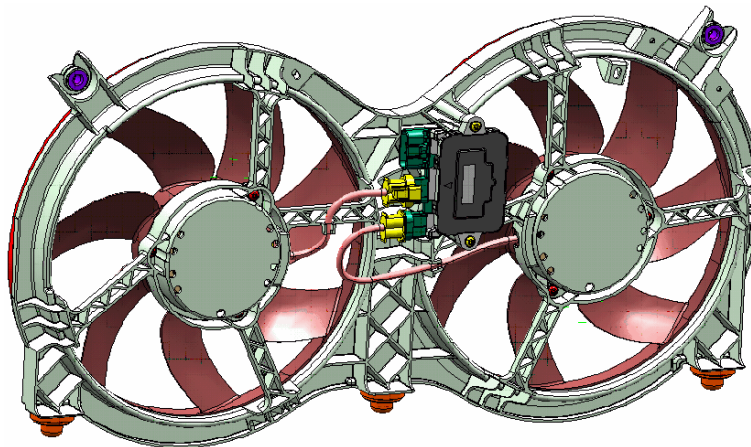


Ilustración 7 : GMV dual

Principalmente se utiliza con radiadores con forma rectangular con una gran diferencia entre las longitudes de los dos lados. En este caso el diámetro del ventilador lo marca la altura mínima del radiador, y esta al ser

mucho más pequeña que la longitud de éste provocaría que no se podría aspirar o soplar aire correctamente a través de todo el radiador.

- GMV Single: En este caso solo tenemos un ventilador con su motor eléctrico.

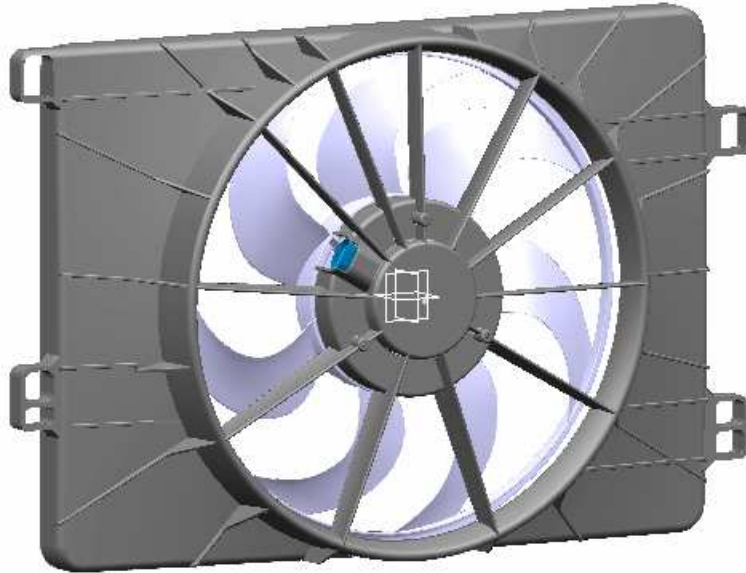


Ilustración 8 : GMV single

Es la forma más utilizada actualmente y es la principal tendencia del mercado. Como ventaja principal tiene que el coste es muy inferior.

En este proyecto solo estudiaré la configuración Single, ya que es la más utilizada y la tendencia más importante.

El rendimiento global del GMV es:

$$\eta_{GMV} = \eta_{Aer} * \eta_{mec}$$

Ecuación 1 : Rendimiento GMV

Si sustituimos los rendimientos obtenemos:

$$\eta_{GMV} = \frac{Q * \Delta P}{M * N} * \frac{M * N}{I * V} = \frac{Q * \Delta P}{I * V}$$

Ecuación 2 : Rendimiento GMV

$$\eta_{GMV} = \frac{Q * \Delta P}{I * V}$$

Ecuación 3: Rendimiento GMV

Q: Caudal (m³/s)

ΔP : Incremento de presión (Pa)

I: Intensidad (A)

V: Voltaje (V)

M: Par (Nm)

N: Velocidad (rpm)

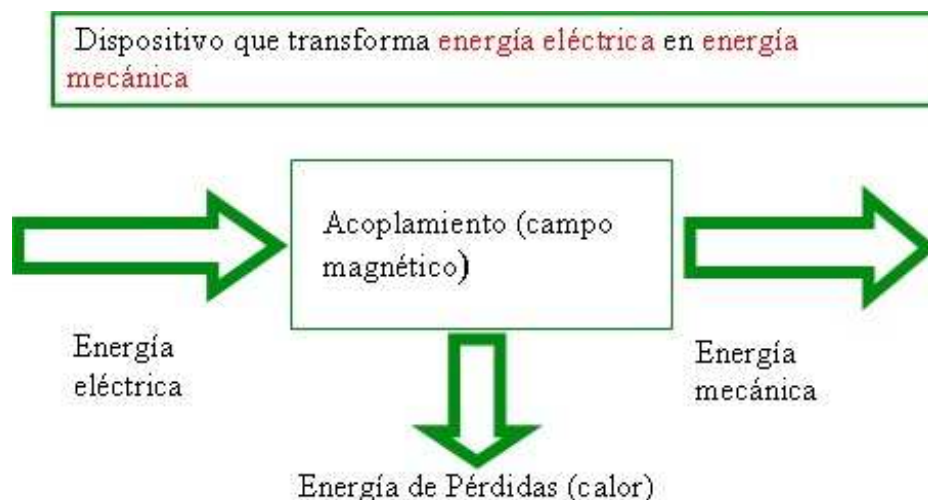
A continuación presentaré las diferentes partes del grupo moto-ventilador:

- Motor eléctrico
- Soporte
- Ventilador
- Intercambiador de calor (IC) y elementos que provocan pérdidas de carga que aunque no forman parte del GMV influyen de manera directa en el diseño de este.

2.1 Motor Eléctrico.

En este apartado revisaremos las bases de funcionamiento de los motores eléctricos utilizados en el grupo GMV, así como una pequeña descripción estructural de ellos.

Un motor eléctrico es:

**Ilustración 9 : Esquema energía motor eléctrico**

Principalmente hay dos tipos de motores eléctricos:

Motores de corriente alterna (AC motors):

- Motores de inducción monofásicos: (Aplicaciones: Frigoríficos, aire acondicionado doméstico, lavadoras, lavavajillas, ventiladores)
- Motores de inducción trifásicos (Aplicaciones : Ascensores, Máquinas herramientas, industria en general)
- Motores universales (Aplicaciones: Aspiradores, Batidoras, Secadores de pelo, lavadoras)
- Motores de corriente continua (DC motors):
- Motores de c.c. con bobinas polares (BDC- Brush motor)
- Motores de c.c. con imanes permanentes
- Motores de c.c. sin escobillas (BLDC- Brushless motor)
- Motores paso a paso
- Motores de reluctancia variable

En un GMV se utilizan motores de corriente continua de los tipos Brush (BLC) y Brushless(BLDC).

Esquema de funcionamiento de un motor de CC:

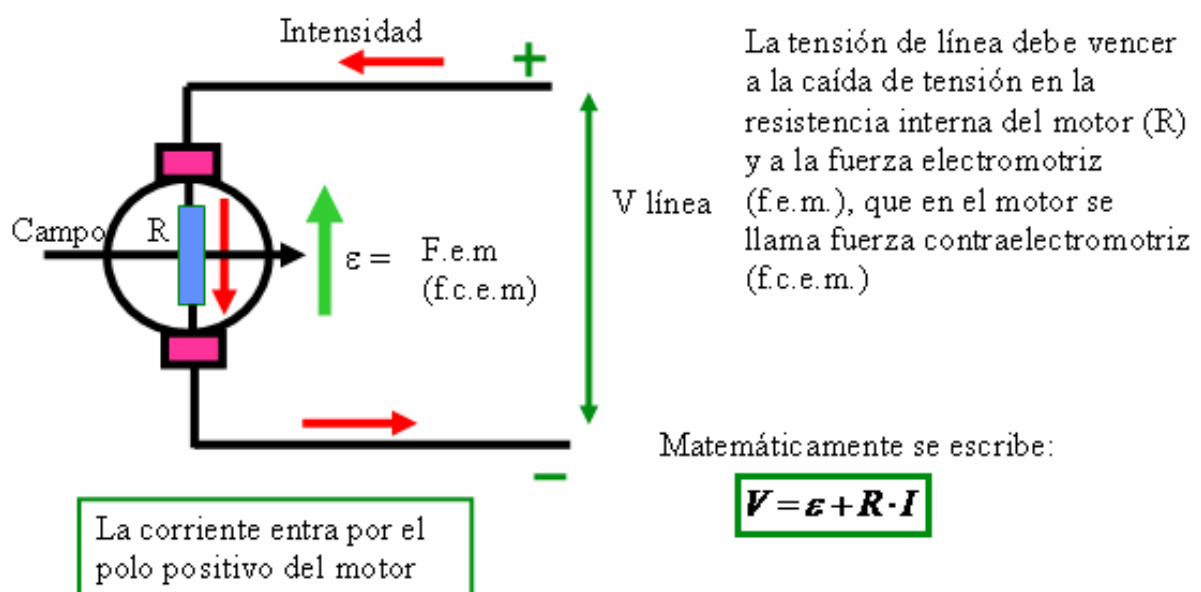


Ilustración 10 : Esquema motor corriente continua

Para reflejar gráficamente el comportamiento de un motor eléctrico se utilizan las curvas características, de las cuales la más usada es la curva que relaciona la velocidad y la intensidad en función del par.

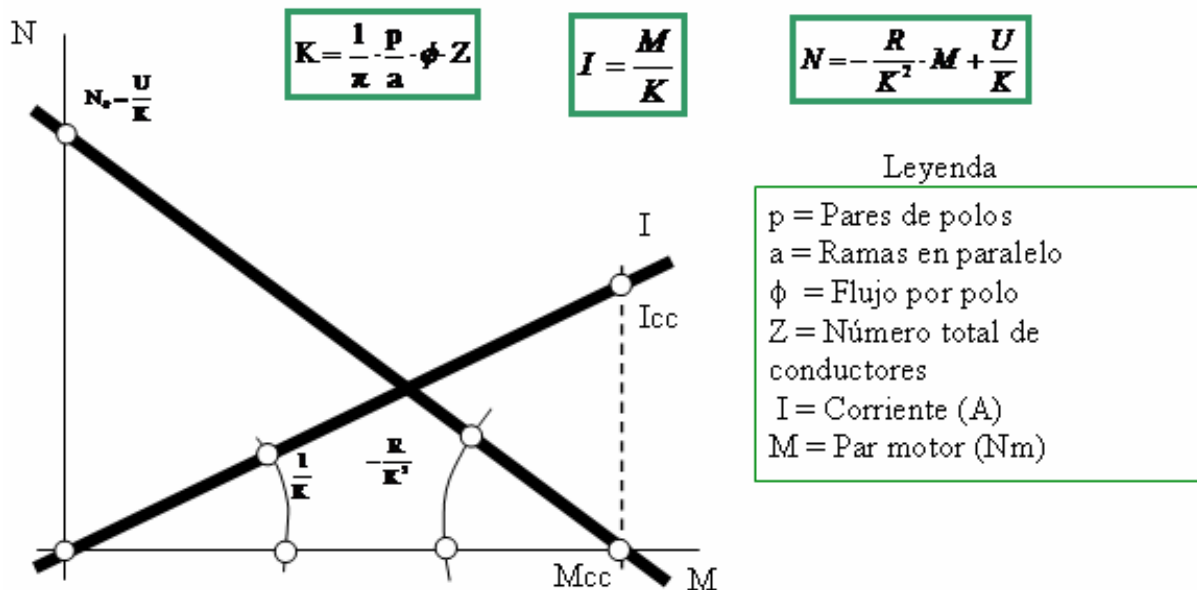


Ilustración 11 : Curva Par-Velocidad de giro

Dicha gráfica es muy importante para el diseño del ventilador, debido a que el punto de funcionamiento del motor es la intersección de esta gráfica con la gráfica de par-velocidad de nuestro ventilador, como vemos a continuación:

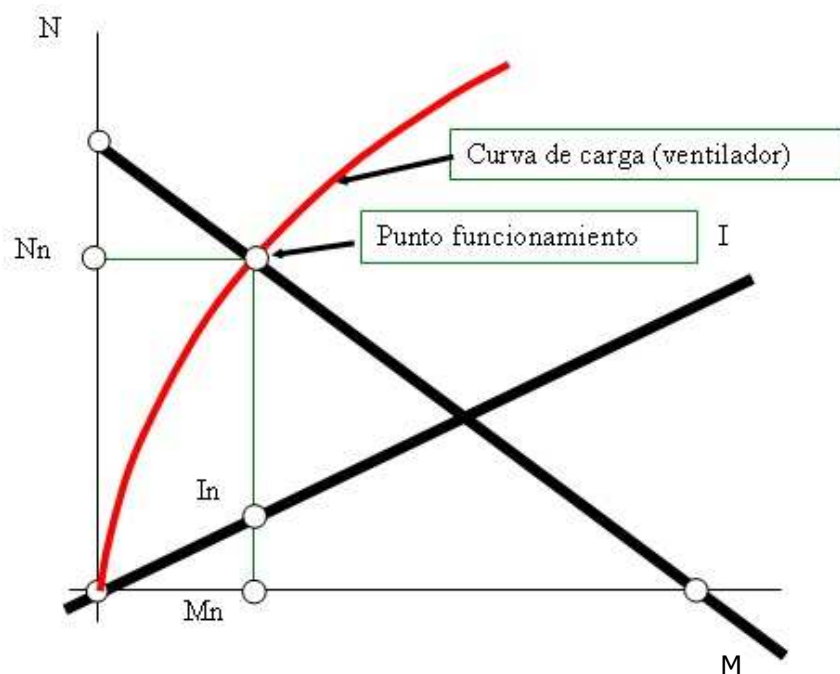


Ilustración 12 : Punto funcionamiento motor

La eficiencia de un motor de corriente continua es la relación entre la potencia absorbida (potencia de entrada) y la potencia mecánica en el eje (potencia de salida).

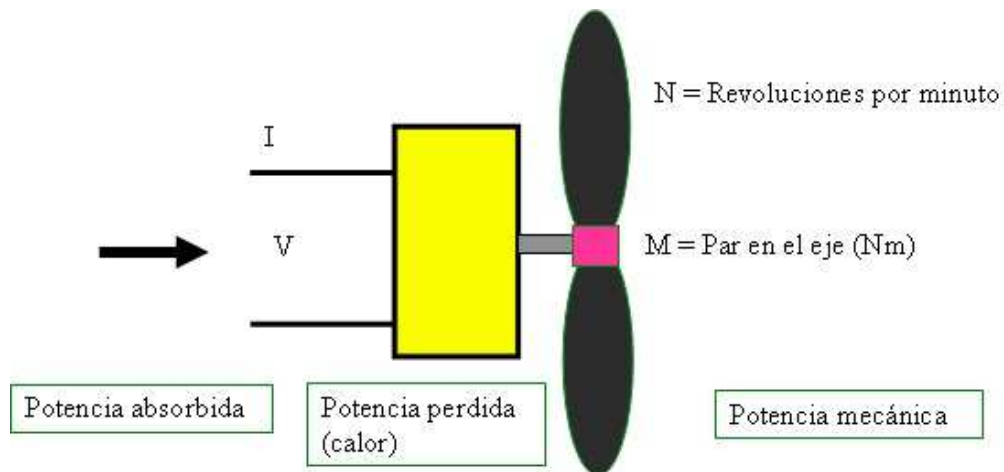


Ilustración 13: Esquema potencia de un motor eléctrico

Por lo tanto obtenemos que la eficiencia del motor es:

$$\eta = \frac{M * N}{I * V}$$

Ecuación 4 : Rendimiento motor eléctrico

(Aunque trabajemos en rpm la velocidad se tiene que pasar a SI (rad/s) para realizar los cálculos.)

Un ejemplo del balance energético de un motor eléctrico del tipo BDC es el siguiente:

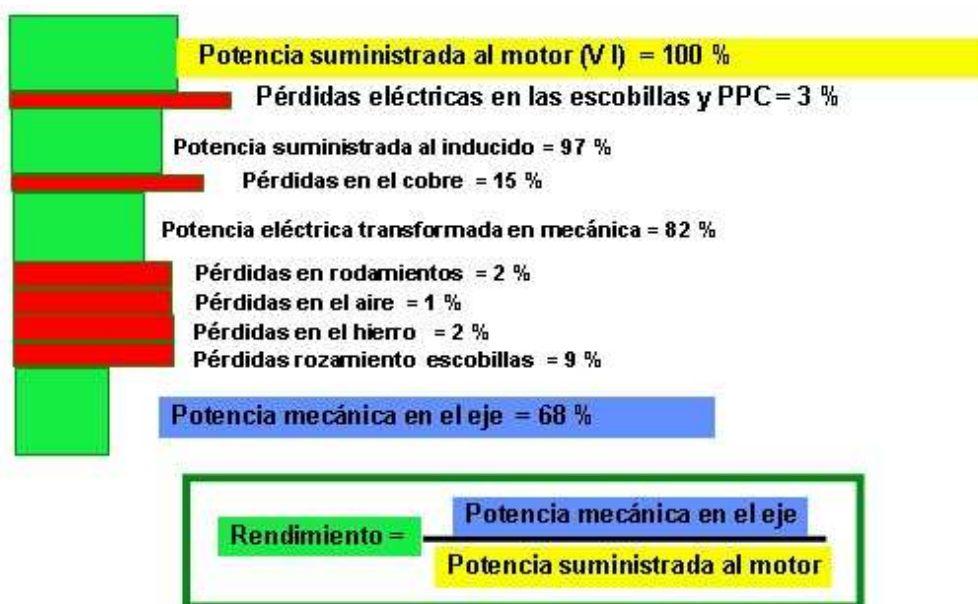


Ilustración 14 : Distribución de pérdidas de un motor eléctrico

2.1.1 Motor Brushless (BLDC):

Son motores de corriente continua que realizan la conmutación mediante un circuito electrónico y por lo tanto no utilizan escobillas. Se empezaron a comercializar en la década de los 60 y su implementación en el mercado de la automoción es lenta debido a su alto coste, los problemas que sufrían inicialmente debido a las altas temperaturas a las que están sometidos y también por problemas de deterioro de los circuitos electrónicos en las condiciones de uso de los vehículos.

A día de hoy, estas problemáticas se han minimizado notablemente debido a los grandes avances que sufre la electrónica a diario.

Los BLDC tienen un rendimiento mayor que los motores BDC, eso en gran parte es debido a que se elimina el rozamiento entre el colector y las escobillas, necesario para la conmutación de estos últimos, en el apartado anterior hemos visto como las pérdidas por este rozamiento es de un 9%. En el caso de los motores BLDC la conmutación se realiza mediante la electrónica, cambiando la polaridad de los polos del estator según la posición del rotor. Para ello es necesario disponer de dispositivos que controlen la posición del rotor, estos elementos pueden ser Encoders o Sondas Hall por ejemplo.

Otro punto importante es que mediante la electrónica se puede optimizar el funcionamiento del sistema de refrigeración porque se regula automáticamente para dar el flujo de caudal necesario en cada momento, y así, no desperdiciar energía y reducir las emisiones de CO₂ del vehículo. Este último punto es muy interesante ya que como hemos visto anteriormente las emisiones de CO₂ cada vez estarán más limitadas.

En un GMV los motores brushless tienen la siguiente configuración:

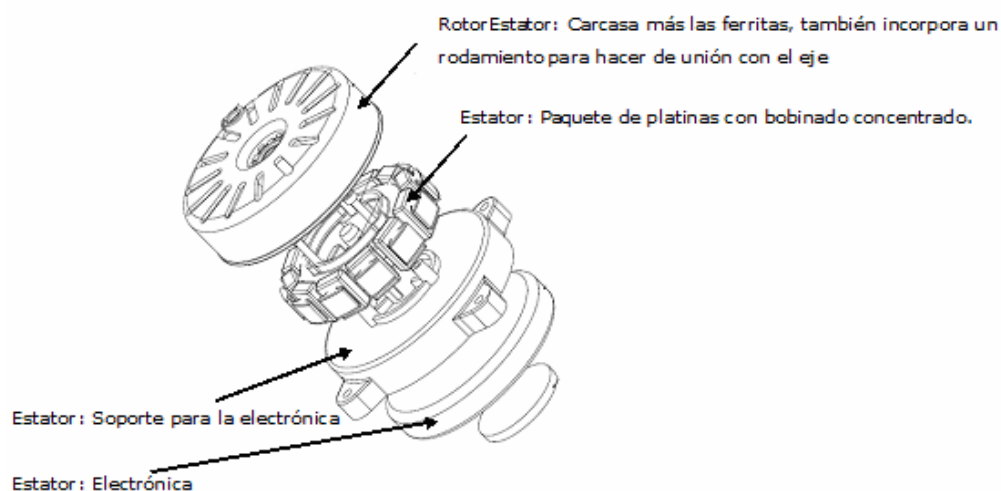


Ilustración 15 : Configuración motor brusless

El rotor, que consta de las ferritas y el anillo se acopla al ventilador mediante tornillos o alguna fijación similar. Mientras que la electrónica, el paquete de platinas y el bobinado está en el estator.

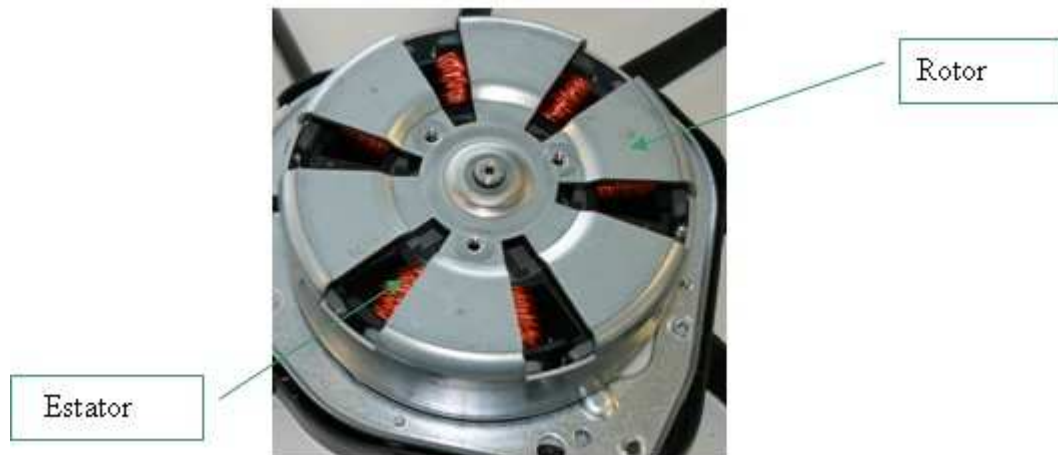


Ilustración 16 : Motor brushless

El rendimiento de los motores BLDC está entorno al 85%.

Ventajas respecto al motor BDC:

- Tienen una mayor eficiencia.
- Menor ruido de banda ancha.
- Mayor vida útil, ilimitada.
- Menos contaminante.
- El interior del motor no se calienta tanto como en los BDC.
- No necesitan dispositivos externos de control de velocidad.

Hay que tener en cuenta que al funcionar electrónicamente no deben generar interferencias radioeléctricas con otros componentes y deben tener una muy buena inmunidad radioeléctrica para no verse afectado por otros elementos como pueden ser una antena.

2.1.2 Motor Brush (BDC):

Este tipo de motores realizan la conmutación de los polos mediante el colector y las escobillas. Son los motores más utilizados en el sector de la automoción. Los BDC datan de mucho antes que los BLDC, aproximadamente a finales del s.XIX.

Funcionamiento: La corriente entra a través del conector pasando mediante una platina de cobre a las escobillas. Estas transmiten la corriente al rotor mediante el

colector, realizándose el cambio de polaridad a medida que gira el colector. Este rozamiento entre colector-escobilla provoca unas grandes pérdidas debido a la fricción (9%) lo que hace que el rendimiento de estos motores sea menor a los BLDC.

Al no tener electrónica interna para regular la velocidad de estos motores se utilizan dos dispositivos externos diferentes:

- *Reóstato o resistencia variable*: Es un dispositivo que varía la resistencia, otorgando más o menos corriente al motor. Con este sistema obtienes dos velocidades de trabajo distintas, velocidad baja y velocidad alta. Se pueden combinar varios reóstatos para obtener diferentes velocidades. La limitación de uso es la capacidad de disipación de calor.
- *PWM*: Es un dispositivo electrónico que puede variar la velocidad infinitamente entre un 20% y un 100% del rango total, funcionando de manera similar que un motor BLDC. Es más caro que la solución anterior y además tiene mayores dimensiones y peso lo cual provoca un problema a la hora de diseñar el soporte.

PPC: Contiene las escobillas y la platina por donde circula la electricidad.

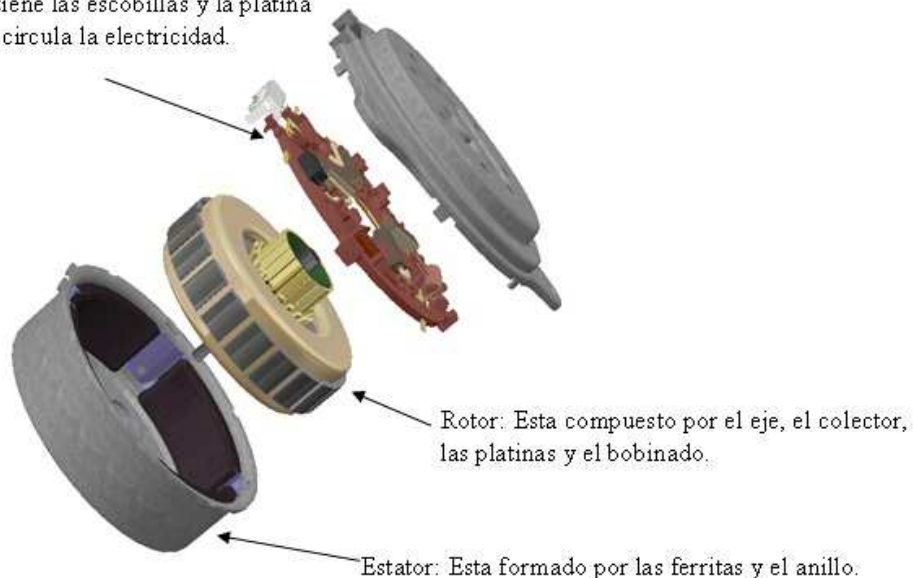


Ilustración 17 : Configuración motor con escobillas

En este tipo de motores el rotor es la parte interna, que es donde está la bobina.

Ventajas sobre los motores BLDC:

- Son mucho mas baratos, 10 euros aproximadamente por unos 27 euros de los BLDC.
- No tienen problemas de interferencias radioeléctricas.
- Generan menor ruido de banda estrecha.

2.2 Ventilador.

Es el elemento encargado de proporcionar la potencia aerodinámica necesaria para la refrigeración del intercambiador de calor. Dicha potencia es:

$$P_{ae} = Q * \Delta P$$

Ecuación 5 : Potencia aerodinámica del ventilador

El caudal generado por el ventilador es debido a la diferencia de presión entre la zona de alta presión y la zona de baja presión provocada gracias a la potencia aplicada al ventilador.

El ventilador lo podemos dividir en 3 partes con funciones distintas:

- El cubo central o "hub"
- Las palas
- El anillo exterior

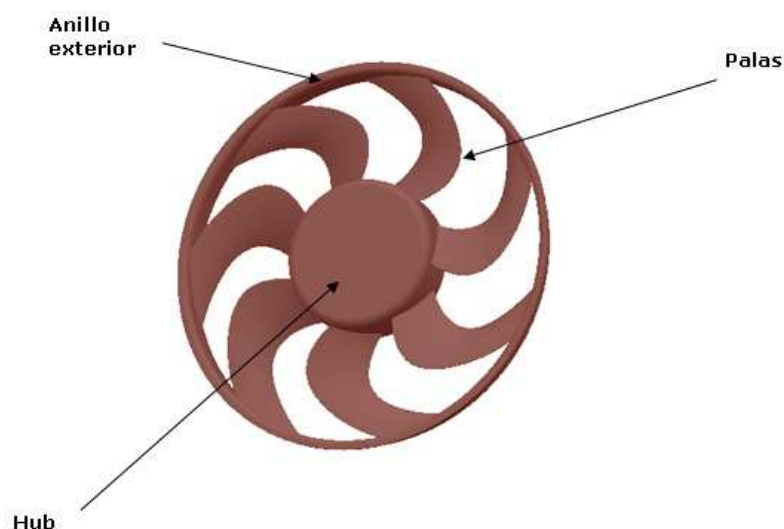


Ilustración 18 : Ventilador

Las principales funciones de dichas partes son:

2.2.1 Hub:

- Proporcionar una estructura para soportar los esfuerzos de las palas.

- Proporcionar medios para la conexión con el motor
- Crear una diferencia de presión que provoque una circulación de aire por dentro del motor, para así refrigerar este último.
- Proteger al motor de la entrada de agua y otros líquidos.
- Servir como puntos de inyección.

2.2.2 Palas:

- Generar la potencia aerodinámica necesaria.
- Soportar los esfuerzos producidos por la velocidad de rotación.

2.2.3 Anillo exterior:

- Prevenir la recirculación de flujo en el final de la pala, y eliminar la generación de ruido asociadas al "wing tip vortex".
- Evitar la separación de flujo en el borde de la pala.
- Proporcionar medios para evitar la recirculación de flujo en la zona entre el ventilador y el soporte.
- Proporcionar solidez estructural al ventilador.

El diámetro máximo exterior del ventilador viene definido por las dimensiones del soporte.

En el apartado 4.1 se revisarán todos los parámetros de diseño del ventilador así como la influencia de estos en el rendimiento del GMV.

2.3 Soporte.

Es el elemento en el cuál se sujeta el motor eléctrico y que va unido al radiador.

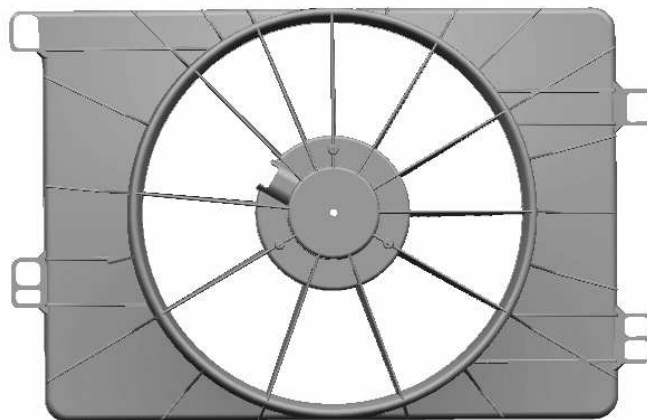


Ilustración 19 : Soporte

Tiene como principales funciones:

- Proporcionar un soporte estructural al motor eléctrico.
- Proporcionar un sistema de sujeción al radiador o a la estructura del vehículo.
- Aumentar la eficiencia del sistema bloqueando la recirculación de aire de la salida hacia la entrada del ventilador.
- Asegurar la protección del ventilador, para así evitar posibles heridas o cortes.
- Aportar medios de sujeción para otros elementos dentro del compartimento del motor principal, como pueden ser:
 - Cableado del motor eléctrico.
 - Resistencia variable o PWM.
 - Líneas de transmisión de aceite.
 - Mangueras de refrigerante del A/C.
 - Mangueras de refrigerante del motor principal.
 - Otros requerimientos específicos de cada cliente.

El soporte es un elemento del cual si estudiamos el mercado podemos encontrar un sin fin de configuraciones distintas. Según las especificaciones de diseño que tengamos podemos optar por un diseño más simple, económico, ligero o por otro lado podemos optimizar el diseño, dándole más recursos para que aumente la eficiencia del sistema. Las principales consideraciones a tener en cuenta a la hora de elegir un diseño u otro son:

- Configuración Single o Dual.
- Objetivos de coste.
- Diseño en una sola pieza o bien, dividirlo en dos o más piezas para un mejor transporte.
- Diferenciar entre soplante o aspirador, si es soplante se premiará el diseño con menor superficie, debido a que así no se obstruye la circulación natural de aire.
- Ensayos estructurales a los que estará sometido.
- Exigencias de estanqueidad del motor eléctrico. Dependiendo de ello llevará una tapa en la parte trasera del motor.
- Simplicidad a la hora de la inyección de plástico.

Las dimensiones totales del soporte vienen dadas por las dimensiones del radiador, y las fijaciones, son las exigidas por el cliente.

En apartados siguientes se estudiarán todos los parámetros de diseño del soporte que influyen en el rendimiento del sistema.

2.4 Sistema de restricción de caudal.

El funcionamiento de nuestro GMV está muy ligado a la geometría de todo el frontal del vehículo donde va a trabajar, debido a que al haber tantos elementos en poco espacio se provoca una pérdida de velocidad del flujo de aire. De hecho el fabricante del módulo de refrigeración no está especialmente interesado en el caudal de aire, sino por la temperatura del agua a la entrada del intercambiador de calor y a su salida. Así que el fabricante especificará un caudal de aire mínimo que pase a través del intercambiador de calor para una pérdida de carga concreta, con una intensidad y voltaje determinados. Éste caudal dependerá de varios elementos diferentes.

Los elementos primarios que influyen en la pérdida de carga son:

- *Radiador, condensador (Rad Dp + Con Dp)*: Producen una pérdida de carga cuando el aire pasa a través de ellos.
- *Ventilador (Fan Dp)*: El ventilador puede provocar pérdidas o ganancias de presión en el sistema, dependiendo de su punto de funcionamiento comparado con la velocidad del vehículo y la presión dinámica provocada por este.
- *Rejilla de entrada y otras placas que puedan haber aguas arriba del intercambiador de calor (Fes Dp)*: Provoca una pérdida de presión debido a la resistencia por fricción del aire a través de dichas geometrías. Esta pérdida de presión varía dependiendo de la dirección de las líneas de corriente, las cuales son función de la geometría de la parte frontal del vehículo.
- Elementos que obstruyen la salida de aire del ventilador, bloque motor (Exit Dp): Provocan una pérdida de presión al bloquear la salida del aire del ventilador.
- *Presión dinámica (Ram Dp)*: Es función directa de la velocidad del vehículo.

Con estos datos podemos obtener el balance de presión:

$$RamDp + FanDp = FesDp + ExitDp + (RadDp + CondDp)$$

Ecuación 6 : Balance de presión

Como FesDp y ExitDp dependen de la geometría del vehículo, podemos simplificar la ecuación de la siguiente manera:

$$RamDp + FanDp = VehDp + RadDp + CondDp$$

Ecuación 7 : Balance de presión

Las ganancias o pérdidas de presión varían según el punto de funcionamiento del GMV, solo la $RamDp$ es fija, dependiendo exclusivamente de la velocidad del vehículo.

Como conclusión podemos observar que la presión que debemos conseguir con el GMV depende de la velocidad del vehículo.

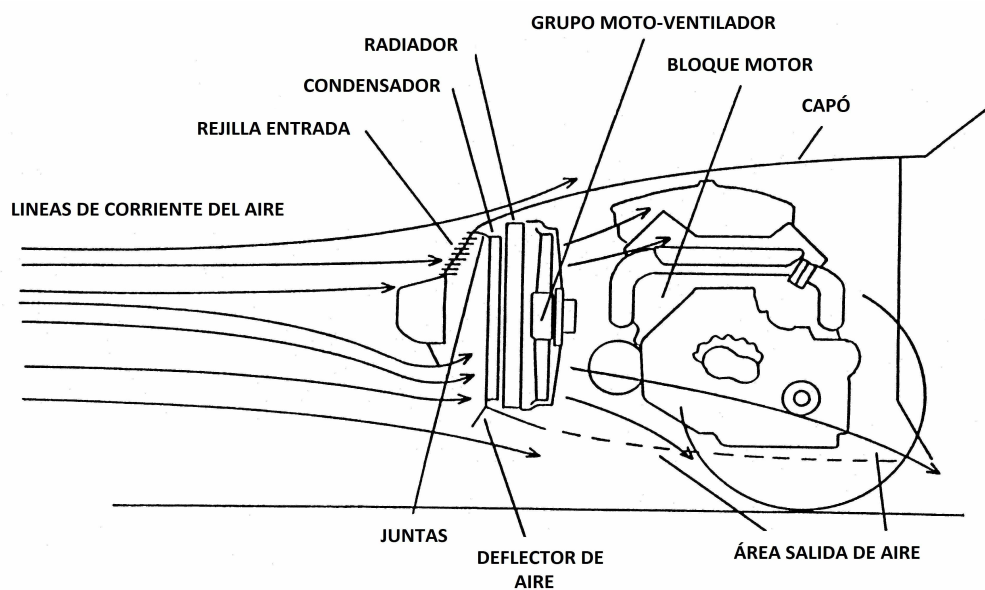


Ilustración 20 : Esquema frontal del coche

La combinación de todos estos elementos nos dará un sistema de pérdida de carga, en forma de gráfica Caudal- Pérdida de presión.

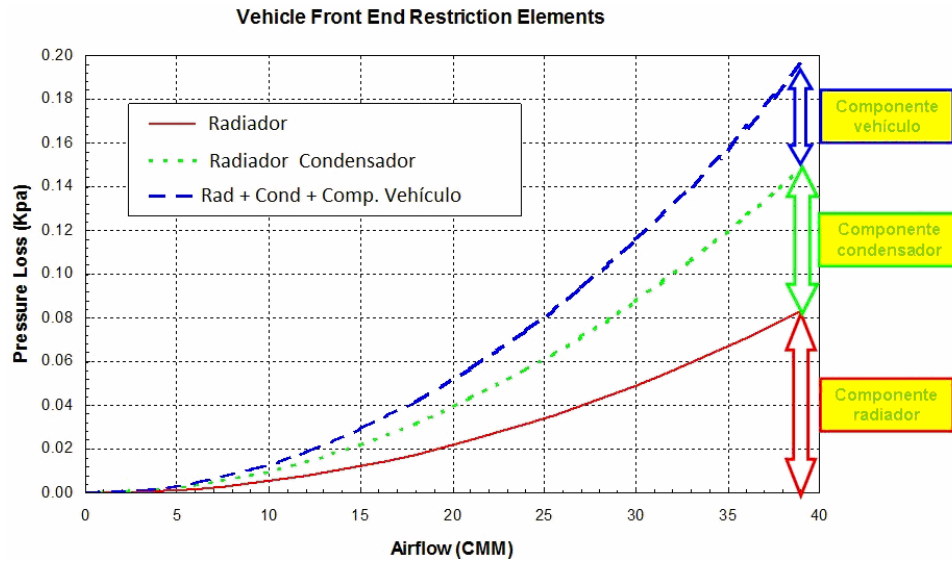


Ilustración 21 : Pérdida de carga en el vehículo

Esta curva nos marcará el diseño de nuestro ventilador, ya que el punto de funcionamiento de nuestro GMV es la intersección entre esta curva y la curva de Caudal-Depresión de nuestro GMV.

Como ejemplo podemos observar la siguiente gráfica:

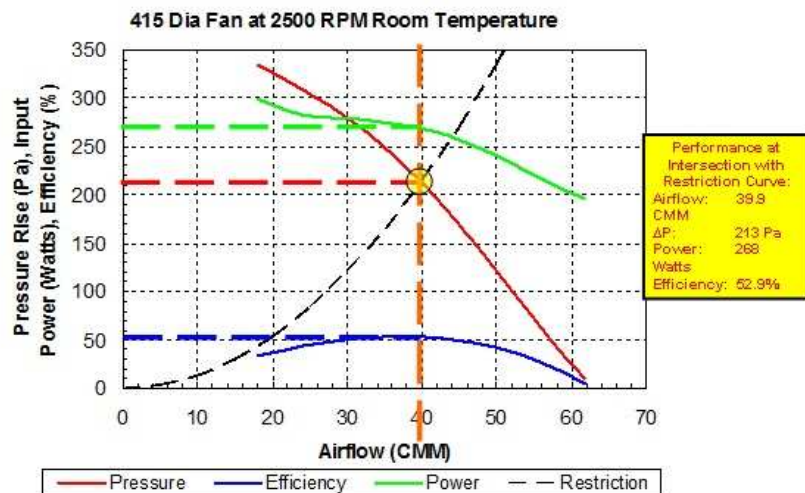


Ilustración 22 : Punto de funcionamiento del GMV

3 Requisitos del cliente para nuestro diseño.

Como vimos en el apartado 1, los diferentes fabricantes tienen distintas estrategias a nivel de diseño. Por lo tanto cada cliente nos exigirá diferentes parámetros de diseño, cumplir diferentes normativas... Para analizar los principales requisitos comunes a todos los fabricantes me apoyaré en una requisitoria real de un posible cliente:

3.1 Características principales del GMV.

Aquí el cliente nos da una base acerca del producto que necesita:

- Componentes: En este caso un *GMV completo*, es decir, motor + ventilador + soporte + controlador de velocidad. Es posible que un cliente solo desee comprar algún componente del GMV como puede ser motor, ventilador...
- Sentido de giro del ventilador: *Sentido de giro horario*.
- Tipo de motor, brush o brushless: En nuestro caso un *motor brush*
- Definición potencia máxima del motor: *400W*
- Single o dual: *Single*
- Aspirante o soplador: *Aspirante*.
- Requisitos de comportamiento, en este apartado entra mas en detalle sobre las exigencias de funcionamiento.
- Potencia aerodinámica exigida: Es el caudal de aire que debe aspirar el ventilador en función de la restricción de presión. Este es el punto más importante que influye en el diseño del ventilador.

Qv	ΔP
0,224	301,4
0,322	262,2
0,4	290,2
0,479	274,9
0,572	253
0,663	229,4
0,734	210,7
0,79	196,9
0,848	179,9
0,911	159,2
0,961	140,2
1,063	94,9
1,164	40,9
1,242	1,8

Tabla 1: Requisitos de aerodinámicos

- Velocidad de giro y voltaje: 2500rpm máximo con un voltaje de 13V

- Al darnos estos datos también nos especifican la densidad del aire a la cual están medidos.
- Características del balanceo, tanto dinámico como estático que debe cumplir el ventilador. Estático=30gmm y Dinámico= 12Kg.mm2 puede ser un ejemplo.
- Dimensiones del conjunto.
- Juego axial y radial permitido al ventilador: *Debe ser menos de 3mm*
- Dimensiones máximas. Se definen las dimensiones del GMV en los tres ejes, también es muy aconsejable obtener del cliente un 3d del empaque de la zona donde irá situado nuestro GMV para así no tener sorpresas con tuberías, o pequeños elementos situados en esa zona y que podrían crear interferencias. Con una dimensiona axial de 150mm como máximo.

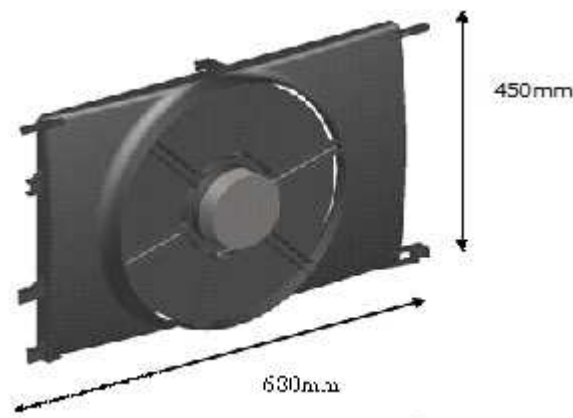


Ilustración 23 : Dimensiones soporte

- Sistema de sujeción con el radiador. El cliente nos define la geometría y posición de las pestañas que harán de unión con el radiador. Como ejemplo:

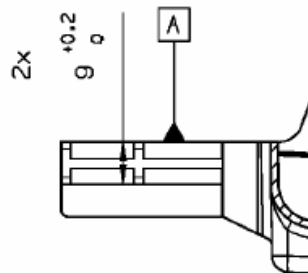


Ilustración 24 : Detalle fijaciones soporte-radiador

- Masa total máxima del conjunto: 2600g

- También pueden definir o aconsejar un tipo de unión entre motor-ventilador o motor-soporte, aunque normalmente lo define el diseñador del GMV.
- Limitaciones acústicas. Es un requerimiento muy importante y que si no se tiene en cuenta desde el primer momento luego puede que nos haga cambiar todo el diseño. También definirán el punto donde se debe medir el ruido así como los picos permitidos. Las limitaciones para este diseño son: 68 dB medidos a 1 metro en frente del coche y a 0.5m sobre el suelo.
- No deberá provocar distorsiones tonales en otros elementos electrónicos.
- No deberá tener picos de más de 10dB ni incrementos de 10Hz.
- Materiales a utilizar. En algunos casos pueden restringir el abanico de materiales a utilizar según sus preferencias.
- Inflamabilidad de los componentes
- Acabados exteriores
- Color
- Rugosidad

3.2 Ensayos a realizar.

Quedan definidos todos los ensayos que nuestro conjunto debe superar para que el cliente lo valide, un ejemplo son:

- Ensayo de durabilidad
- Vibraciones
- Resistencia a la humedad
- Acústica
- Ensayos aerodinámicos
- Resistencia a la temperatura

Como he centrado el proyecto en el diseño del ventilador y del soporte voy a explicar detalladamente el método de caracterización de ventiladores, es decir, los ensayos aerodinámicos.

3.2.1 Ensayos aerodinámicos.

Para la caracterización de ventiladores se utilizan principalmente dos normativas:

- DIN 24163: Esquema de funcionamiento.



- [illegible]

Página 36 de 111

Aunque la construcción de las cámaras de ensayo sea distinta según la normativa que utilicemos, el sistema de realización de los ensayos para ambas normativas es el siguiente:

Se pone en funcionamiento el ventilador bajo ensayo a una velocidad constante.

Con el "damper", se controla el caudal que se deja pasar, primero se empieza con una gran restricción, es decir, dejando pasar muy poco caudal. Este caudal se mide en el Nozzle.

Se mide la diferencia de presión entre el interior de la cámara y la presión exterior.

En el interior se mide la presión estática, de esta manera obtenemos:

$$\Delta P = P_{atm} - P_{sta}$$

Ecuación 8: Diferencia de presión

Con estos dos valores se obtiene un punto de la gráfica ΔP -Q. A continuación se deja pasar un poco más de caudal y obteniendo otro punto. Se sigue así hasta llegar a un diferencia de presión 0 o negativa.

Para compensar las pérdidas de carga del túnel se utiliza un ventilador auxiliar.

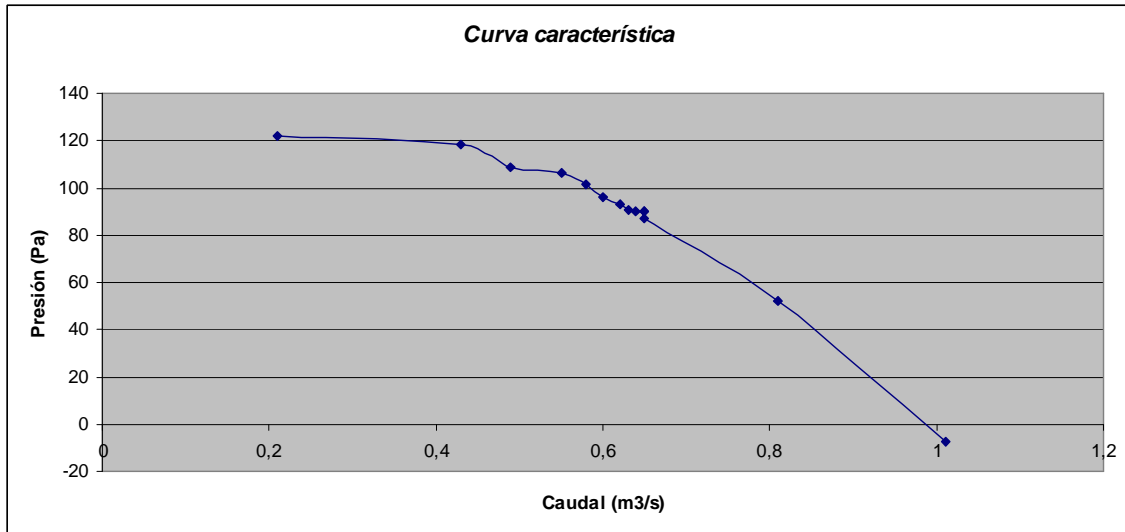
Los datos obtenidos en el ensayo son:

- Caudal, se expresa en m³/s
- Diferencia de presión, medida en Pa
- Velocidad de giro (rpm)
- Par (Nm), se mide con una bancada auxiliar
- Potencia mecánica (W) = Par(Nm) * Velocidad rotación(rad/s)
- Potencia eléctrica (W) = Intensidad(A) * Voltaje (V)
- Potencia aerólica (W) = Caudal(m³/s) * Dp (Pa)
- Eficiencia aerodinámica = Potencia aerodinámica (W) /Potencia mecánica (W)
- Eficiencia del GMV = Potencia aerodinámica (W) /Potencia eléctrica (W)

Un ejemplo de los datos obtenidos es el siguiente:

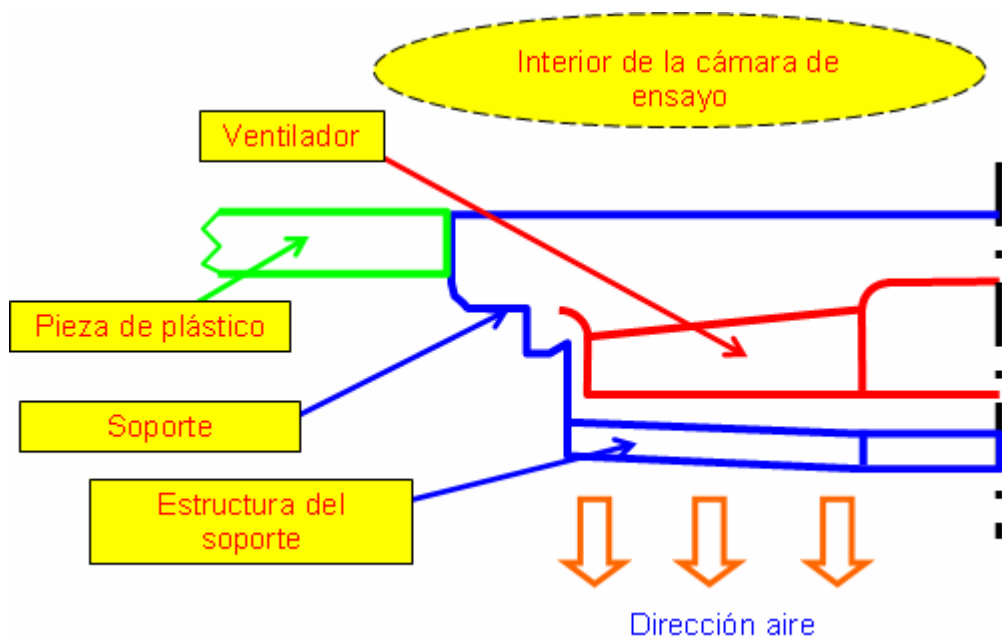
ΔP	Q	Vol	I	Par	RPM	Paer	Pele	Pmec	Eff GMV	Eff aer
122,13	0,21	13	13,6	0,63	1950	26,023	176,8	128,58	14,72%	20,24%
118,59	0,43	13	14,6	0,66	1950	50,524	189,8	134,71	26,62%	37,51%
108,86	0,49	13	14,4	0,66	1950	53,719	187,2	133,89	28,70%	40,12%
106,2	0,55	13	14,8	0,66	1950	58,239	192,4	133,89	30,27%	43,50%
101,78	0,58	13	14,7	0,67	1950	58,837	191,1	136,75	30,79%	43,03%
95,88	0,6	13	14,6	0,67	1950	57,746	189,8	136,75	30,42%	42,23%
92,93	0,62	13	14,7	0,67	1950	57,42	191,1	136,75	30,05%	41,99%
90,56	0,63	13	14,6	0,67	1950	56,736	189,8	136,47	29,89%	41,57%
89,97	0,64	13	14,5	0,67	1950	57,862	188,5	137,58	30,70%	42,06%
89,97	0,65	13	14,5	0,67	1950	58,294	188,5	137,3	30,93%	42,46%
89,97	0,65	13	14,6	0,67	1950	58,291	189,8	137,3	30,71%	42,45%
87,32	0,65	13	14,5	0,67	1950	57,156	188,5	137,3	30,32%	41,63%
52,21	0,81	13	14,6	0,62	1950	42,443	189,8	126,54	22,36%	33,54%
-7,08	1,01	13	13,8	0,67	1950	-7,116	179,4	137,09	-3,97%	-5,19%

Tabla 2 : Datos obtenidos en cámara de viento



Gráfica 1 : Curva característica

Para realizar este tipo de ensayos y caracterizar el GMV completo, éste se debe montar de la siguiente manera en el banco de pruebas:



4 Análisis para-métrico de los componentes.

En este apartado se analizarán todos los parámetros que influyen en el rendimiento aerodinámico del GMV, es decir, los parámetros de diseño del ventilador y del soporte.

4.1 Ventilador.

El ventilador es el componente del GMV que más influye en el rendimiento aerodinámico del GMV. Su diseño obedece principalmente a 4 aspectos:

- Máximo rendimiento aerodinámico
- Resistencia estructural
- Mínima generación de ruido
- Buena inyección

Para un mejor análisis se dividirán los parámetros en 3 zonas: hub o cubo central, palas y anillo exterior.

4.1.1 Hub.

Para definir el hub tendremos en cuenta el diámetro, la dimensión axial así como el tipo de estructura interior.

4.1.1.1 Dimensión axial del hub.

Esta dimensión está limitada muchas veces por el cliente, pero a nivel orientativo, la siguiente es una buena relación entre diámetro del ventilador y dimensión axial.

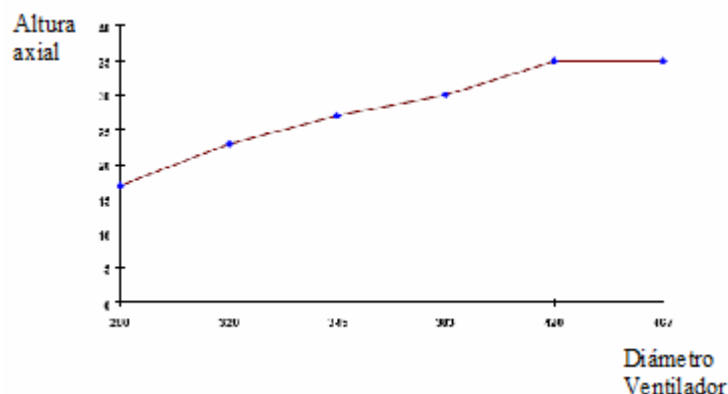


Ilustración 28 : Relación dimensión axial con el diámetro del ventilador

4.1.1.2 Diámetro del hub.

Se basa en un compromiso entre:

- El mínimo diámetro admisible, que depende del diámetro máximo del motor eléctrico.

Diámetro	Mini Diámetro hub	Maxi Diámetro hub
280 mm	125	125.5
320 mm	130	130.5
345 mm	140	140.5
383 mm	155	155.5
420 mm	170	170.5
467 mm	170	170.5

Tabla 3 : Diámetro del hub

- Ratio hub/anillo, es un factor que impacta en la potencia aerodinámica. El ratio óptimo es 0.4 aproximadamente. En ventiladores pequeños este ratio se puede ver sacrificado porque el diámetro mínimo del hub es mayor del deseado debido al diámetro del motor.

$$\frac{D_{int}}{D_{ext}} = 0.4$$

Ecuación 9 : Ratio

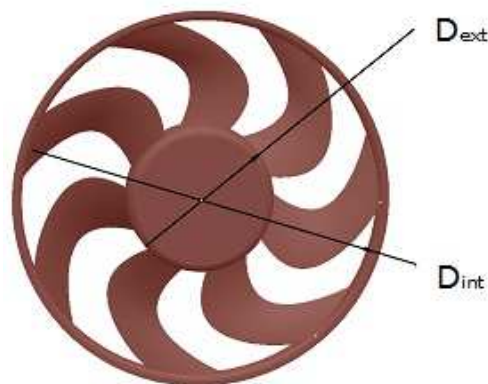


Ilustración 29 : Diámetro interior y exterior.

Al aumentar esta relación disminuye la sección de paso, por lo tanto el punto de funcionamiento óptimo se desplaza a caudales más bajos.

4.1.1.3 Estructura interior.

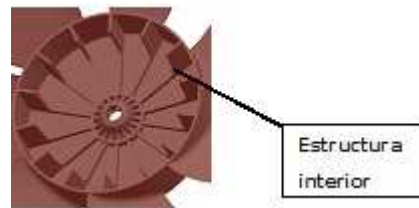


Ilustración 30 : Estructura interior

Principalmente tiene tres funciones:

- Función estructural: Debe tenerse muy en cuenta debido a que influirá en la rigidez total del ventilador y por lo tanto en su rendimiento.
- Función de refrigeración del motor: Mediante las palas estructurales se forma una depresión que provoca una circulación de aire por el interior del motor eléctrico, refrigerándolo. Es un punto muy importante debido a que una buena refrigeración conlleva un aumento de la eficiencia del motor y menores emisiones de CO₂ a la atmósfera. En el apartado 8 veremos el estudio de diferentes geometrías para conseguir el mayor caudal a través del motor para su refrigeración.
- También se utilizará para equilibrar la masa en ventiladores asimétricos.

4.1.2 Palas.

Es el segmento del ventilador que provoca el movimiento de aire, es decir, el caudal que debemos obtener. Por lo tanto sus parámetros son los más influyentes y más críticos, estos que son los siguientes:

4.1.2.1 "Borde de entrada" y "borde de salida".

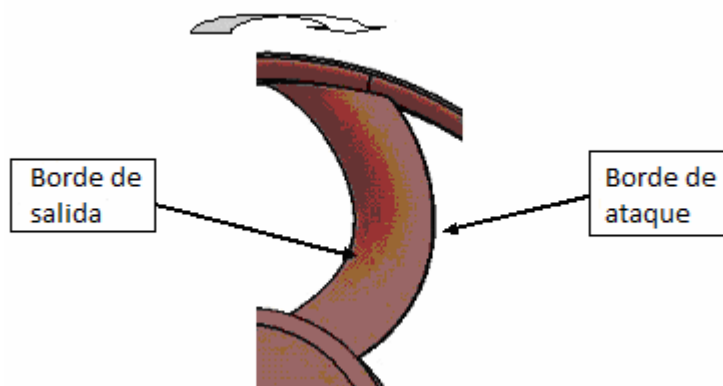


Ilustración 31 : Borde de entrada y de salida

4.1.2.2 Superficie superior de las palas.

Es la superficie entre el borde de entrada y el borde de salida, se refiere a la posición del perfil de la pala en función del radio.

Es un parámetro que influye de manera notable en las propiedades aerodinámicas y en la generación de ruido. Podemos distinguir 2 tipos principales:

- Pala con barrido hacia delante "AV":

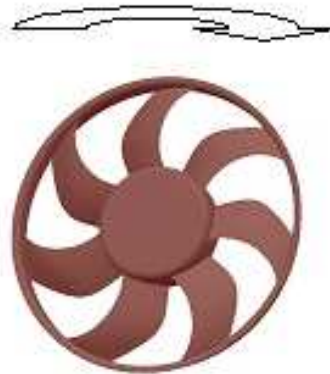


Ilustración 32 : Curvatura adelante

- Pala con barrido hacia atrás AR:

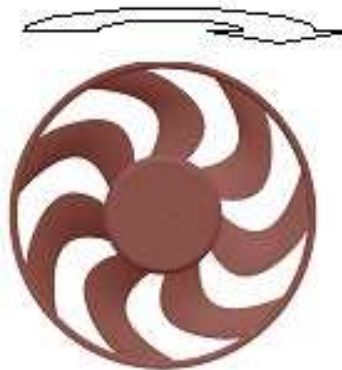


Ilustración 33 : Curvatura atrás

Los ventiladores con barrido AV tienen un rendimiento máximo superior a los ventiladores AR. Sin embargo los ventiladores AR tienen un mejor rendimiento en una gama más amplia de caudales, pudiendo trabajar a diferentes velocidades sin tener grandes pérdidas de eficiencia.

Los ventiladores AV presentan una clara reducción de nivel sonoro, sobretodo en banda ancha.

4.1.2.3 Ángulo de barrido (β).

Se define como el ángulo entre la línea tangente a la pala que pasa por un punto de la línea de entrada y la línea radial que pasa por el mismo punto.

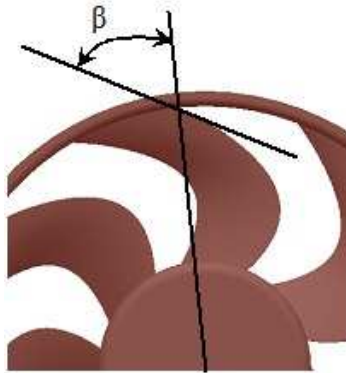


Ilustración 34 : Ángulo de barrido

Los ventiladores con mayores ángulos de barrido generan generalmente menos ruido que ventiladores con palas similares y menores ángulos de barrido.

4.1.2.4 Ángulo entre palas (γ).

Es el ángulo entre dos líneas radiales que pasan por el mismo punto de la línea de entrada de dos palas adyacentes siguiendo la dirección de rotación.

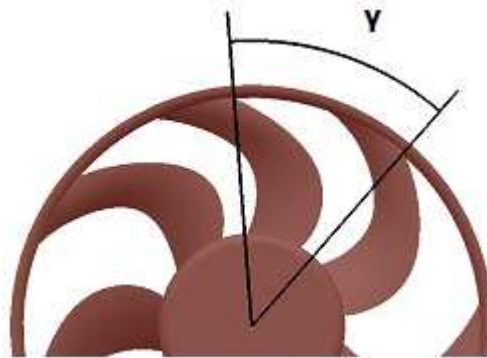


Ilustración 35 : Ángulo entre palas

Con los ventiladores con diferentes γ , asimétricos, conseguimos poder controlar la tonalidad del espectro de ruido y de esta forma reducir el ruido.

Aunque el espaciado entre palas sea asimétrico, el total del ventilador debe estar estáticamente equilibrado.

4.1.2.5 Número de palas.

Para este tipo de ventiladores se utilizan entre 6 y 11 palas, salvo alguna excepción puntual. La presión estática generada por el ventilador es función del número de palas y el ancho de éstas, incrementando el número de palas conseguimos un aumento de $\Delta P-Q$ pero por contrapartida también provoca un aumento del par producido por éste y del ruido generado, debido a que el ruido se genera en el borde de entrada y el de salida, no en la superficie de la pala. Por otro lado, si el número de palas es demasiado bajo, éstas serán muy anchas con lo que serán pesadas, más caras y difíciles de equilibrar. Es muy recomendable que el número de palas no sea múltiplo o divisor del número de polos del motor y de los brazos del soporte, para así no contribuir a la creación de armónicos. Éste parámetro no tiene influencia en el rendimiento total del ventilador.

4.1.2.6 Solidez de las palas

Está indicada como el ratio entre la cuerda de las palas " X_c " y la distancia entre ellas " X_p ", determina el caudal generado por revolución para un ángulo de ataque dado.

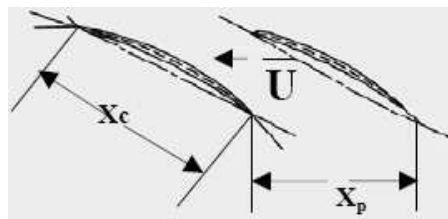


Ilustración 36 : Solidez

$$Solidez = \frac{X_c}{X_p}$$

Ecuación 10 : Solidez

La distancia entre palas aumenta del hub al anillo exterior, utilizaré una solidez de 1 entorno al radio efectivo " r_m ", el cual asumiendo una velocidad axial uniforme divide el flujo en dos partes iguales.

$$r_{m^2} = \frac{r_h^2 + r_a^2}{2}$$

Ecuación 11 : Radio medio

Donde:

r_m : Radio medio

r_h : Radio en el hub

r_a : radio en el anillo

4.1.2.7 Ancho de la pala.

Se mide a lo largo de la intersección de una superficie cilíndrica con la pala. Es muy importante que las palas no debe sobreponerse unas con las otras para no obstruir el flujo de una a la otra. En algunos diseños el ancho se mantiene constante a lo largo de la pala, pero en cambio en otros varia en función del radio. Si estrechamos la pala a medida que nos acercamos al anillo exterior conseguimos una reducción de par, pero si aumentamos el ancho en esa zona conseguimos bajar el nivel de ruido y aumentar la máxima diferencia de presión.

4.1.2.8 Perfil de la pala.

La definición del perfil de la pala es muy importante ya que tiene influencia en el rendimiento del ventilador. Éste perfil lo estudiaremos como un perfil alar, es decir, es el mismo perfil que un ala de avión o una vela de un velero, en concreto nos centraremos en las series Naca, que fueron creadas por la National Advisory Committee for Aeronautics. Para este tipo de ventiladores la serie más óptima es la serie Naca-6 , debido a que tiene como principal objetivo mantener el flujo laminar a lo largo del perfil, lo cual evita dentro de lo posible la aparición de turbulencias, lo que es lo mismo, perdidas de rendimiento. Una cosa a tener en cuenta es que nuestro ventilador esta fabricado con PA6+30%Fv. mediante inyección por molde, lo cual provoca que debamos hacer ligeras modificaciones para que el perfil sea inyectable.

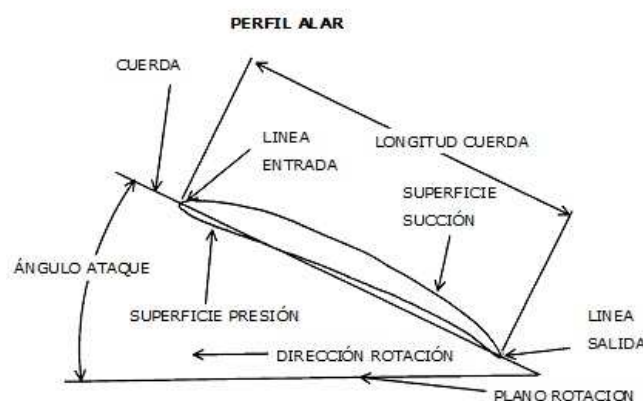


Ilustración 37 : Perfil alar

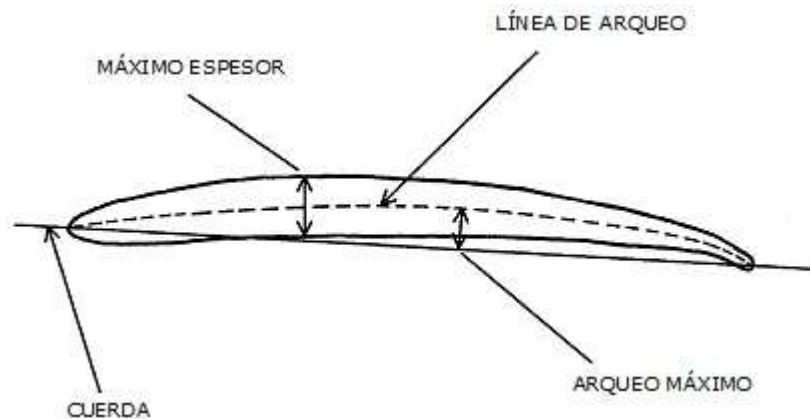


Ilustración 38 : Perfil alar

- Superficie de succión: Superficie convexa con menor presión.
- Superficie de presión: Superficie cóncava donde se produce la mayor presión.
- Línea media o de arqueo: Es la línea media entre las superficies de presión y de succión.

4.1.2.9 Longitud cuerda.

Es la longitud entre el borde de entrada y el de salida. Se expresa en función del radio. Desde un punto de vista aerodinámico la longitud de la cuerda debe aumentar a medida que se acerca al anillo, pero desde un punto de vista estructural es mejor lo contrario. Debemos asumir un equilibrio de este parámetro.

Varía para cada tipo de ventilador, un ejemplo:

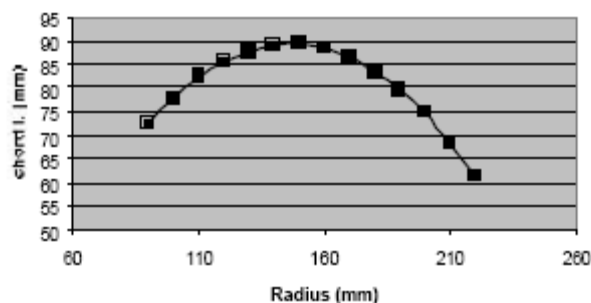


Ilustración 39 : Longitud cuerda

4.1.2.10 Arqueo

Es la distancia entre la cuerda y la línea de arqueo, se suele expresar como porcentaje de la longitud de la cuerda. La localización del máximo arqueo se expresa como porcentaje a lo largo de la cuerda.

Ejemplo:

Average line / chord distance in % chord length														
Radius	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
Chord (mm)	72.2	77.77	82.38	85.61	87.69	89.09	89.42	88.53	86.62	83.38	79.59	74.83	68.09	61.4
5%	1,47	1,86	1,18	1,09	0,98	0,89	1,02	0,97	0,82	0,73	0,82	0,80	0,79	0,78
10%	2,42	2,62	1,93	1,78	1,63	1,53	1,59	1,52	1,36	1,27	1,33	1,31	1,31	1,29
15%	3,15	3,18	2,52	2,32	2,16	1,98	2,04	1,95	1,79	1,69	1,75	1,72	1,70	1,68
20%	3,76	3,61	3,00	2,76	2,55	2,38	2,39	2,30	2,14	2,03	2,07	2,04	2,03	2,00
25%	4,24	3,95	3,37	3,11	2,89	2,68	2,68	2,56	2,42	2,30	2,34	2,30	2,29	2,25
30%	4,60	4,19	3,67	3,39	3,14	2,94	2,90	2,79	2,63	2,52	2,55	2,50	2,48	2,46
35%	4,88	4,36	3,90	3,59	3,33	3,12	3,06	2,94	2,81	2,69	2,70	2,65	2,64	2,61
40%	5,08	4,42	4,04	3,73	3,48	3,26	3,16	3,04	2,92	2,79	2,81	2,77	2,75	2,72
45%	5,19	4,41	4,14	3,81	3,55	3,34	3,22	3,11	2,99	2,87	2,88	2,82	2,82	2,77
50%	5,23	4,31	4,18	3,84	3,58	3,36	3,24	3,11	3,01	2,89	2,90	2,85	2,83	2,80
55%	5,19	4,09	4,14	3,82	3,56	3,34	3,20	3,08	3,00	2,88	2,88	2,82	2,82	2,79
60%	5,08	3,78	4,05	3,73	3,47	3,28	3,11	3,00	2,93	2,81	2,81	2,75	2,76	2,72
65%	4,89	3,41	3,90	3,59	3,36	3,15	3,00	2,87	2,83	2,71	2,71	2,66	2,66	2,61
70%	4,61	2,97	3,68	3,39	3,15	3,00	2,80	2,70	2,67	2,55	2,56	2,50	2,50	2,46
75%	4,24	2,51	3,39	3,12	2,92	2,75	2,57	2,46	2,46	2,34	2,36	2,31	2,31	2,26
80%	3,77	2,03	3,01	2,77	2,60	2,46	2,27	2,17	2,19	2,09	2,10	2,04	2,04	2,02
85%	3,17	1,53	2,54	2,34	2,18	2,10	1,87	1,82	1,86	1,75	1,77	1,72	1,72	1,71
90%	2,44	1,08	1,94	1,79	1,69	1,61	1,42	1,34	1,44	1,34	1,37	1,32	1,32	1,30
95%	1,47	0,67	1,18	1,09	1,03	1,01	0,78	0,77	0,90	0,80	0,83	0,80	0,79	0,78

Tabla 4 : Arqueo del perfil a lo largo de la cuerda

4.1.2.11 Ángulo de ataque

Es el ángulo que hay entre la cuerda de la pala y el plano de rotación del motor. El flujo de aire antes de pasar a través del ventilador es axial, es decir, paralelo al eje de rotación de éste. Pero el flujo al pasar por el ventilador sale desviado, y la velocidad de éste se puede descomponer en dos: velocidad axial y velocidad tangencial o circunferencial. De estas dos, la velocidad axial es la componente útil y la tangencial se puede considerar como energía perdida.

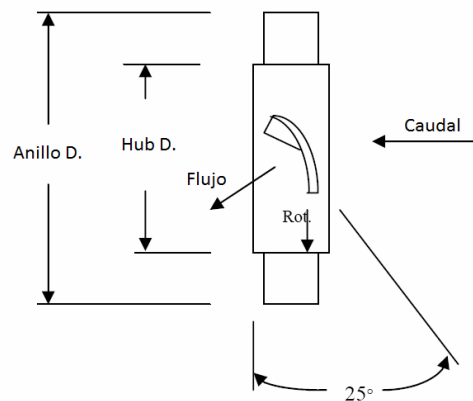


Ilustración 40 : Ángulo de ataque

Para conseguir un buen rendimiento del ventilador, el flujo de aire debe de estar distribuido uniformemente sobre la pala, donde la velocidad axial tiene que ser la misma desde el hub al anillo exterior. Por otro lado, la velocidad de rotación no puede ser uniforme en toda la pala, ya que aumenta con el radio. Este gradiente de la velocidad debe de ser compensado mediante la torsión de la pala, es decir, variando el ángulo de ataque del perfil.

4.1.2.12 Ángulo de calado

Es el ángulo entre la cuerda y el eje de rotación del ventilador, es decir, el complementario al ángulo de ataque. En diseño de ventiladores axiales es el más utilizado. Con la variación de este parámetro podemos controlar el ΔP y el par de un ventilador sin variar el rendimiento, debido a que aumentando un grado dicho ángulo aumentamos en un 6% aproximadamente el ΔP , aumentando también el par. Este parámetro se utiliza para ajustar un ventilador para que pase por un punto de funcionamiento específico.

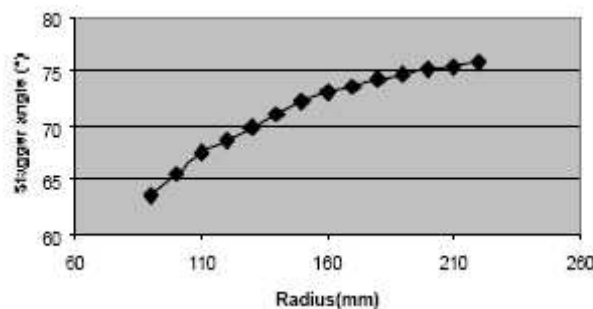


Ilustración 41 : Ángulo en función del radio

4.1.2.13 Distribución de espesor

Describe el espesor a lo largo de la cuerda, normalmente en % de la cuerda. El espesor cerca de la línea de salida se modifica para que sea inyectable, como he comentado previamente.

(% chord)	E (% chord)	(% chord)	E (% chord)	Angles profile/chord*	
0,5	1,18	60	7,62	A1	77,0
1	1,81	65	6,88	A2	46,6
2	2,52	70	6,03	A3	52,9
5	3,77	75	5,11	A4	27,0
10	5,26	80	4,14		
15	6,38	85	3,16		
20	7,23	90	2,23		
25	7,89	95	1,41		
30	8,38	97	1,18		
35	8,70	98	1,17		
40	8,87	99	1,04		
45	8,86	99,5	0,86		
50	8,65	100	0,50		
55	8,23				

Tabla 5 : Distribución de espesor a lo largo de la cuerda

4.1.2.14 Espesor máximo

Define el espesor máximo del perfil en función del radio. Si se utiliza un mismo perfil para toda la pala éste espesor es función de la cuerda de la pala.

Radius (mm)	Thickn (mm)	Radius (mm)	Thickn (mm)	Radius (mm)	Thickn (mm)
90	6.43	140	7.87	190	7.08
100	6.89	150	7.99	200	6.65
110	7.3	160	7.9	210	6.08
120	7.59	170	7.67	220	5.49
130	7.78	180	7.42		

Tabla 6 : Espesor máximo según radio

4.1.3 Anillo exterior.

Tiene como principales funciones:

- Prevenir la recirculación de flujo a lo largo del final de la pala, evitando así pérdidas de rendimiento y que se genere ruido en esa zona.
- Evitar la separación de la corriente de flujo en el borde de entrada en la zona del final de la pala.

- Proporcionar medios para reducir la recirculación de flujo en el gap entre el ventilador y el soporte, gracias al cual podemos aumentar la eficiencia y reducir la generación de ruido.
- Proporcionar integridad estructural a las palas del ventilador.

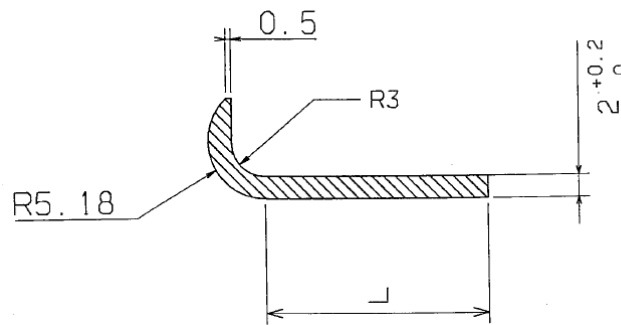


Ilustración 42 : Ejemplo perfil anillo exterior

4.2 Soporte.

Como hemos visto en la presentación de los elementos del GMV, el soporte es el elemento en el cuál se sujeta el motor eléctrico y que va unido al radiador. Y tiene como principales funciones:

- Proporcionar un soporte estructural al motor eléctrico
- Proporcionar un sistema de sujeción al radiador o a la estructura del vehículo.
- Aumentar la eficiencia del sistema bloqueando la recirculación de aire de la salida hacia la entrada de aire del ventilador.
- Asegurar la protección del ventilador, para así evitar posibles heridas, cortes...
- Aportar medios de sujeción para otros elementos dentro del compartimento del motor principal, como pueden ser:
 - Cableado del motor eléctrico
 - Resistencia variable o PWM
 - Líneas de transmisión de aceite
 - Mangueras de refrigerante del A/C
 - Mangueras de refrigerante del motor principal
 - Otros requerimientos específicos de cada cliente.

Como he hecho con el ventilador para un mejor análisis de los diferentes parámetros a estudiar, dividiré el soporte en: Anillo de montaje, zona interferencia ventilador-soporte, estructura del soporte y demás elementos del soporte.

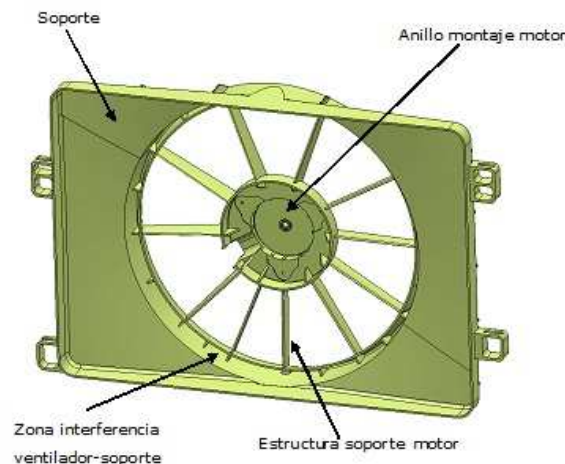


Ilustración 43 : Soporte

4.2.1 Zona de montaje del motor.

Su principal función es proporcionar medios para la sujeción y el posicionamiento del motor eléctrico así como de conexión con la estructura del soporte.

Sus principales características de diseño son:

- Sistema de fijación con el motor: los más comunes llevan 3 tornillos o dos clips mas un tornillo.
- Sistema de centrado del motor: son unos perfiles mediante los cuales se centra el motor antes de fijarlo.
- Un espacio para la posición del conector del motor o para la salida de cables.
- Proteger la entrada de agua en el motor así como a la vez permitir su refrigeración. Esto es un punto importante en el diseño debido a que un mal diseño puede provocar en que el conjunto no sea utilizable.

4.2.2 Estructura soporte motor.

Los principales objetivos del diseño de esta estructura son 4:

- Proporcionar la resistencia estructural suficiente para soportar el peso del motor, así como soportar vibraciones y demás ensayos a los que se someterá.
- Minimizar la obstrucción del flujo de aire aguas abajo del ventilador.
- Minimizar la generación de ruido.
- Mejorar la eficiencia total del GMV.

Para cumplir estos objetivos revisaremos dos tipos diferentes de estructuras, que son las más utilizadas:

4.2.2.1 Estructura con perfil alar.

Además de proporcionar resistencia estructural, al tener forma de perfil alar acelera el flujo al pasar por los brazos aumentando el rendimiento del GMV sin provocar un aumento de carga en la hélice. Este tipo de estructura lleva más brazos que una estructura simplemente estructural y por lo tanto es más cara.

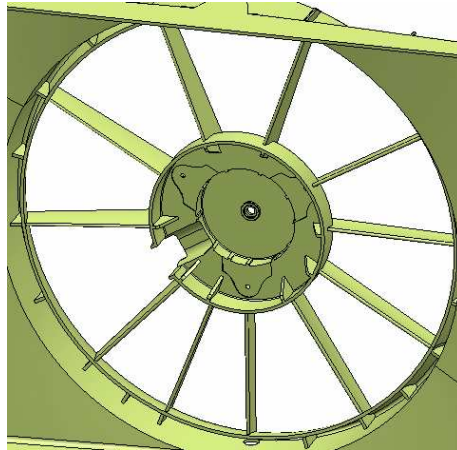


Ilustración 44 : Estructura con perfil alar

4.2.2.2 Estructura simple.

Sus brazos tienen una función solo estructural. Es de más simple concepción y está muy implementado aunque no es tan eficiente como la anterior

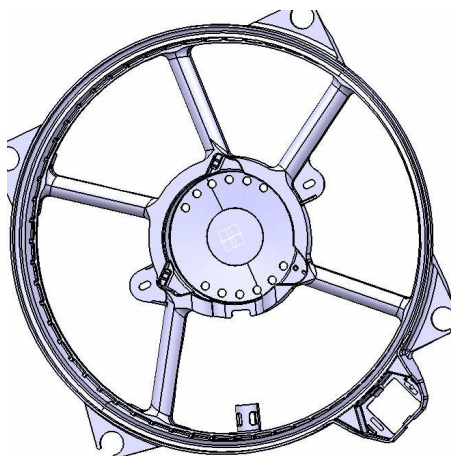


Ilustración 45 : Estructura simple

4.2.3 Zona interferencia ventilador-soporte.

Su función es reducir la recirculación de aire de la zona de alta presión a la zona de baja presión a través del espacio existente entre el ventilador y el soporte.

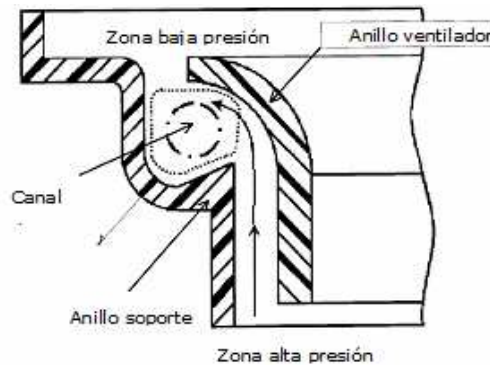


Ilustración 46 : Recirculación de aire

Para conseguir este propósito prestaremos atención principalmente a 3 parámetros:

- Gap radial entre el ventilador y el soporte. Como menor sea el gap siempre es mejor, pero éste vendrá determinado por las tolerancias de fabricación y montaje.
- Canal de flujo. El objetivo es frenar la recirculación del flujo.
- Posición axial del ventilador respecto al soporte. Será función del diseño del canal de flujo.

4.2.4 Otros elementos del soporte.

Otros puntos importantes a tener en cuenta cuando diseñamos el soporte son:

- Agujero de drenaje: Es muy importante evacuar todo el agua del GMV, ya que si hubiera una helada ésta se congelaría bloqueando el ventilador, pudiendo llegar a provocar fuego en el motor. Dicho agujero se sitúa en la parte inferior.

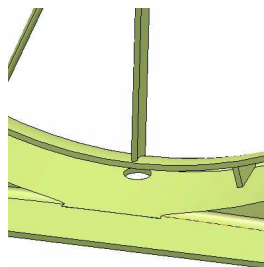


Ilustración 47 : Agujero de drenaje

- Estructura exterior. Necesaria para proporcionar rigidez estructural y puede estar situada tanto en el interior como en el exterior.
- Sistema de sujeción con el radiador. Viene definida por el cliente.
- Sistemas de sujeción de otros elementos del vehículo como por ejemplo cables o tubos.

Al margen de los puntos indicados a tener en cuenta en el diseño del soporte quiero hacer hincapié en la dificultad de inyección de esta pieza al tener un tamaño grande, por lo cual mientras hacemos el diseño debemos tener muy en cuenta que sea inyectable.

4.3 Parámetros que influyen en la generación de ruido.

A la hora de diseñar un GMV principalmente debemos cumplir con dos objetivos, el primero es una buena eficiencia y el segundo conseguir el mínimo de ruido posible. La disminución de ruido cada vez es más importante en el sector del automóvil, porque con ello se consigue un aumento del confort tanto del pasajero como de las personas que se encuentren cerca del vehículo.

Para controlar el ruido generado por un ventilador en función de algunos parámetros existen una serie de leyes. dichas leyes nos permiten estimar la potencia de sonido "PWL" y el nivel sonoro "SPL".

Estas leyes son las siguientes:

- Si realizamos cambios en la velocidad de giro o el diámetro del ventilador

$$PWL = 10 \log \left(\frac{D2}{D1} \right)^7 + 10 \log \left(\frac{V2}{V1} \right)^5$$

Ecuación 12 : Potencia sonido

$$SPL = 20 \log \left(\frac{D2}{D1} \right)^{3.5} + 20 \log \left(\frac{V2}{V1} \right)^{2.5}$$

Ecuación 13 : Nivel sonoro

- Cambios en diámetro y presión

$$PWL = 10 \log \left(\frac{D2}{D1} \right)^2 + 10 \log \left(\frac{P2}{P1} \right)^{2.5}$$

Ecuación 14 : Potencia sonido

$$SPL = 20 \log \left(\frac{D2}{D1} \right)^{3.5} + 20 \log \left(\frac{P2}{P1} \right)^{1.25}$$

Ecuación 15 : Nivel sonoro

- Cambios en el caudal y la presión

$$PWL = 10 \log \left(\frac{Q2}{Q1} \right) + 10 \log \left(\frac{P2}{P1} \right)^2$$

Ecuación 16 : Potencia sonido

$$SPL = 20 \log \left(\frac{Q2}{Q1} \right)^5 + 20 \log \left(\frac{P2}{P1} \right)$$

Ecuación 17 : Nivel sonoro

Donde:

PWL: Potencia de sonido

SPL: Nivel sonoro

Q: Caudal

V: Velocidad

D: Diámetro

P: Presión

5 Materiales utilizados en la fabricación de ventiladores y soportes.

En la fabricación de ventiladores y soportes la elección del material se debe realizar una vez conocidas las características del conjunto que nos exige el cliente. Las principales características a tener en cuenta son:

- Temperatura a la que estará sometido el GMV. Eso en gran parte nos lo marcará el tipo de GMV que se vaya a fabricar, soplante o aspirante.
- Cuaderno de cargas que debe superar. En especial a vibraciones y temperatura.
- Presupuesto. Siempre se intentará que sea el mínimo posible pero a veces el presupuesto es crítico y puedes tener que sacrificar rendimiento de la pieza para poder adaptarla a un material peor.
- Dimensiones de la pieza
- En caso de los ventiladores, la velocidad de giro. Debido a que al aumentar la velocidad aumentará la fuerza centrífuga.
- Tipo de anclaje con el eje, de eso dependerá si debe llevar otra pieza sobre moldeada en el ventilador.
- Tolerancias necesarias para la pieza. Hay materiales con mayor rigidez dimensional que otros y por lo tanto sufren menores deformaciones.
- Tipo de molde porque dependiendo del molde un material con mucha fibra no fluirá tan bien como otro con menos.

Una vez conocidos estos parámetros analizaré 4 materiales, que son salvo excepción los más usados para la fabricación de este tipo de piezas.

5.1 PA 6 + 30% FV.

Es una poliamida con un 30 % de fibra de vidrio. Es uno de los materiales más usados para la fabricación de ventiladores tanto en GMV soplantes como aspirantes. Tiene una normal rigidez estructural y estabilidad dimensional. Debido a que tiene una mayor elongación que las otras poliamidas que veremos, es útil a la hora de sobre moldearle un inserto, esto se debe a que en ensayos de temperatura el material cederá más fácilmente cuando el inserto se expanda y se contraiga por culpa de la temperatura. El precio aproximado es de 2.5 euros/Kg.

5.2 PA66 + 30%FV.

Tiene unas características similares a la anterior pero aguanta mejor la temperatura y es un poco más rígida. Como contrapartida tiene que es más abrasiva para el molde aún teniendo el mismo porcentaje de fibra de vidrio. Es el más utilizado actualmente y junto con la PA 6 + 30% FV es el material estándar en Europa y su precio es de 2.7 euros/Kg.

5.3 PA66 + 38% FV + Minerales.

Respecto al PA66 GF30%, al aumentar el porcentaje de fibra aumenta la rigidez de la pieza y añadiendo minerales se consigue una mayor estabilidad dimensional de la pieza. Por contrapartida es todavía más abrasivo para el molde. Es el material que más se utiliza en América. Su precio es de 2.93 euros/Kg.

5.4 PP + 30%FV.

Tiene en general propiedades mecánicas peores que el resto y no tiene tanta rigidez. Aguanta mucho menos la temperatura que las poliamidas por lo que su uso queda restringido cuando el GMV esta cerca del motor térmico. Su precio es aproximadamente de 1.5 euro/Kg.

Antes de lanzar un molde para la fabricación de las piezas es muy importante comprobar con programas de simulación de inyección que las características del material junto con las del diseño permiten una buena inyección sin provocar rechupes o uniones frías.

6 Sistemas de conexión entre ventilador-motor-soporte.

En este apartado se analizarán los diferentes tipos de montaje de un GMV. Esta característica tiene un impacto importante tanto en el diseño así como en las prestaciones finales del producto. Para un mejor análisis primero estudiaremos el montaje del ventilador con el motor y posteriormente entre el motor y el soporte.

6.1 Montaje motor-ventilador.

La característica más importante que debe asegurar esta unión es un buen equilibrio del ventilador. Los principales sistemas de unión son 3:

6.1.1 Unión con M-plat.

Consiste en que el eje del motor y el inserto del ventilador tengan una parte plana en la zona de unión entre ambos.



Ilustración 48 : M-plat del eje

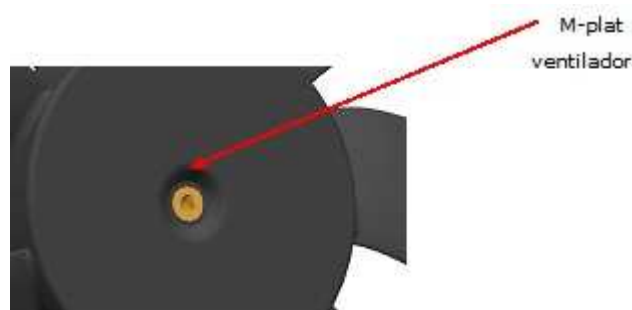


Ilustración 49 : M-plat del inserto del ventilador

Una vez encajadas las dos piezas se coloca una tuerca en la parte final del eje que está roscada.

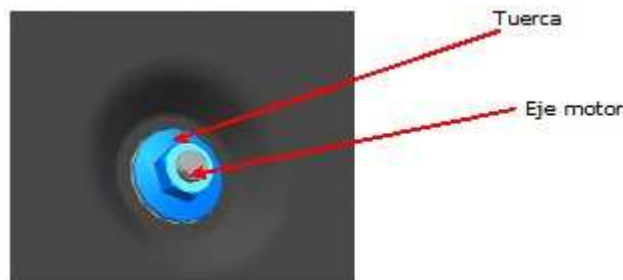


Ilustración 50 : Unión M-plat

Este sistema presenta como principal ventaja que es de muy fácil montaje, se puede montar con la mano, además el coste del inserto y del eje es menor que en otros sistemas ya que no hay interferencia entre ellos. El punto crítico de este sistema es la holgura que hay entre el eje y el inserto del ventilador, si esta es demasiado grande puede provocar un desequilibrio mayor de lo permitido.

6.1.2 Unión a presión

También llamada "pres-fit". Consiste en clavar el eje a presión en el inserto del ventilador. Con este método se consigue un mayor equilibrado dinámico, evitando así un 40% de problemas de equilibrado después de la inyección. Se tiene que garantizar la perpendicularidad del inserto con el eje. El principal problema es que para clavar el ventilador debemos de tener una tapa posterior agujereada que nos permita hacer presión en el eje por el otro lado, después de clavar el inserto se tapa dicho agujero con una pegatina especial que no se corroe ni se despegue. También hay que tener en cuenta que el inserto no debe ser de acero sintetizado ya que al ser un material poroso no resistiría la fuerza de extracción provocada por el giro del ventilador. Por los motivos anteriores éste proceso es más caro que el anterior.

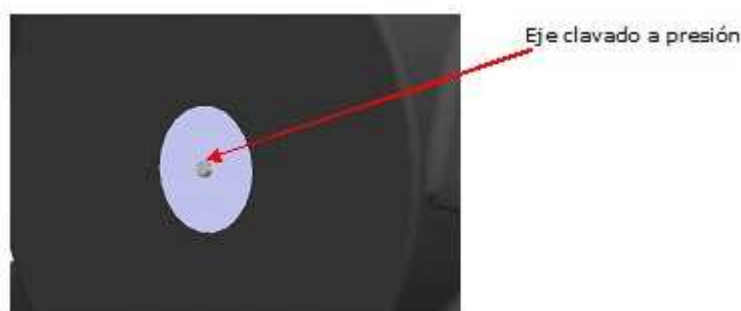


Ilustración 51 : Eje clavado a presión

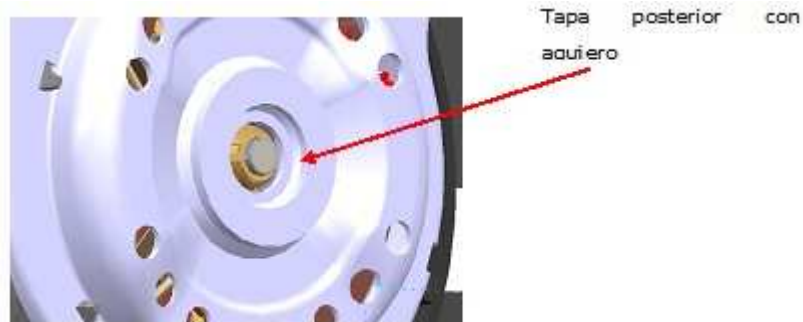


Ilustración 52 : Tapa trasera con agujero para clavar el eje

6.1.3 Unión mediante "drive-plate".

El drive-plate proporciona una mayor superficie de contacto con el ventilador, que no debe llevar inserto sobre moldeado. Primero se clava a presión el drive-plate al eje del motor y luego se encaja en unas ranuras situadas en el ventilador. Por último se coloca un clip circular para fijar el ventilador en el sentido del eje. Es un sistema caro.

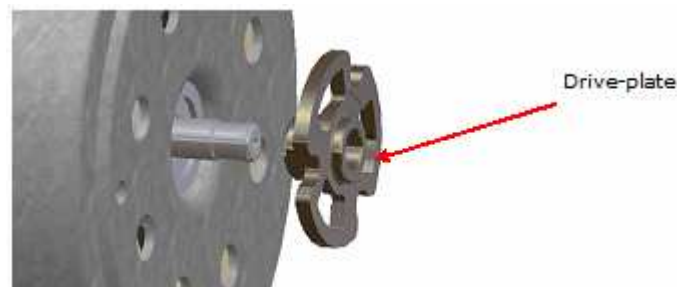


Ilustración 53 : Drive plate sin montar

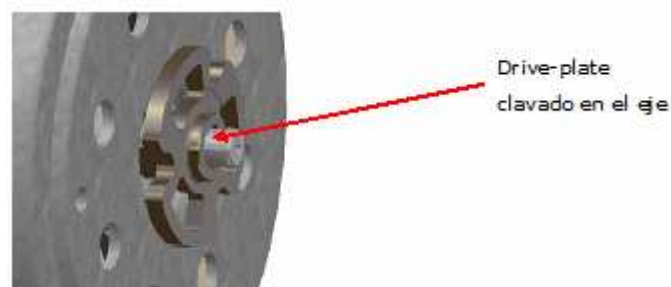


Ilustración 54 : Drive plate montado en el eje

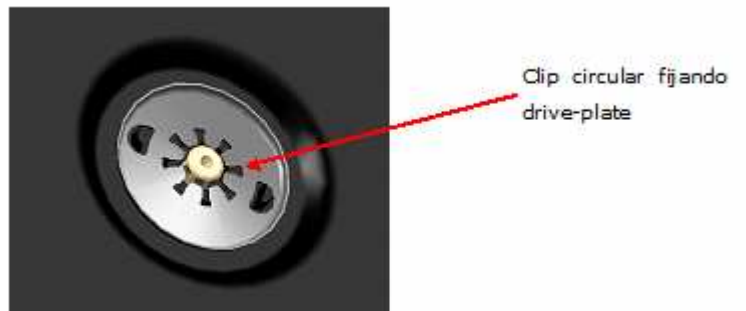


Ilustración 55 : Conjunto montado con drive plate

6.2 Montaje Motor-soporte.

Para este montaje se utiliza un sistema más estándar, que consiste en la fijación del motor mediante tres orejas al soporte. A partir de esta idea principal se pueden aplicar diferentes métodos como son:

6.2.1 Sujeción mediante tres tornillos.

En este caso se colocan las tres orejas del motor en las ranuras y se atornillan con un determinado par de apriete

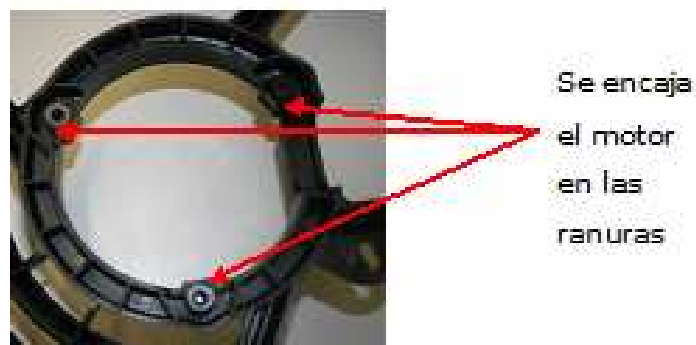


Ilustración 56 : Posicionamiento orejas motor



Ilustración 57 : Motor montado con 3 tornillos

6.2.2 Sujeción mediante un tornillo y dos ranuras.

Consiste en encajar primero las dos orejas en las ranuras del soporte y finalmente colocar solo un tornillo.

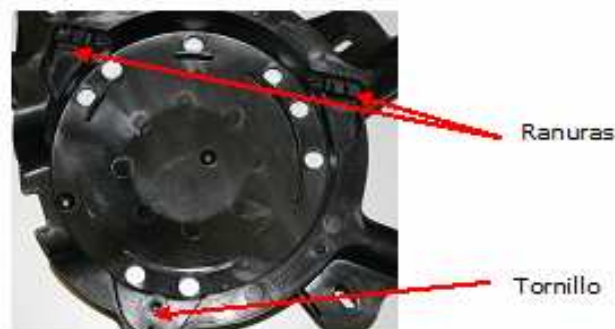


Ilustración 58 : Ranuras más agujero para tornillo

Los dos principales objetivos que debe cumplir un buen sistema de sujeción son evitar el movimiento del motor y minimizar las vibraciones. Para intentar minimizar las vibraciones algunos fabricantes colocan almohadillas entre las orejas del motor y el soporte o también entre los tornillos y el soporte.

7 Simulación realizada con el CFD SC/Tetra.

Para poder analizar el diseño del ventilador y del soporte utilizaré un programa de cálculo fluido dinámico, CFD, que se llama SC/Tetra de la empresa Cradle. Mediante éste programa podré estudiar el comportamiento del ventilador, obtener las curvas características, ver la interacción entre el soporte y el ventilador, observar como se refrigera el motor por dentro y demás cosas de utilidad. He de decir que para utilizar un CFD al margen de tener conocimientos de mecánica de fluidos es muy importante el conocer bien el problema que queremos resolver, ya que un mal planteamiento provocaría errores en el resultado.

7.1 Introducción al CFD SC/TETRA.

Los CFD son programas de simulación fluido-dinámica, los cuales utilizan métodos numéricos y algoritmos para solucionar y analizar problemas que tienen que ver con el flujo de los fluidos. Un ejemplo de las típicas aplicaciones de estos programas es:

- Cálculos hidrodinámicos e aerodinámicos.

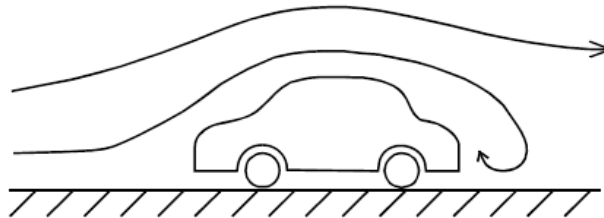


Ilustración 59 : Aerodinámica

- Cálculos de transferencia de calor.

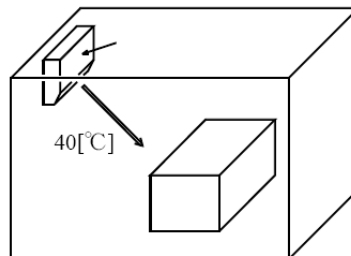


Ilustración 60 : Aire acondicionado

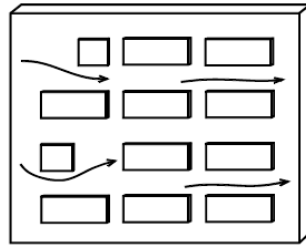


Ilustración 61: Circuito eléctrico

- Difusión de masas.

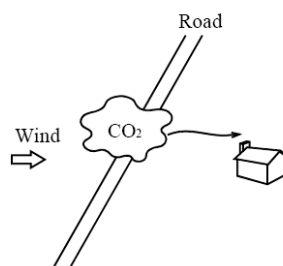


Ilustración 62: Autopista

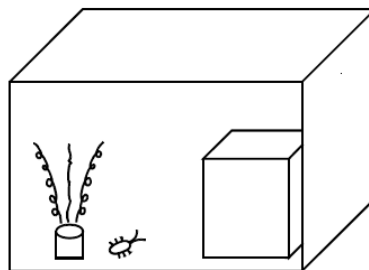


Ilustración 63 : Pesticida

- Reacciones químicas.

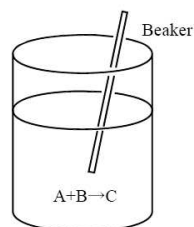


Ilustración 64 : Reacción química

A través de estos cálculos podemos obtener las siguientes magnitudes físicas:

- Velocidad del flujo en X,Y,Z

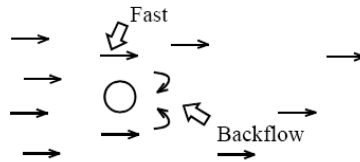


Ilustración 65 : Flujo

- Presión

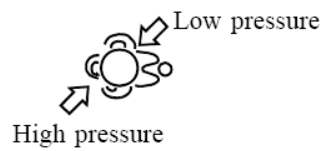


Ilustración 66 : Presión

- Turbulencias

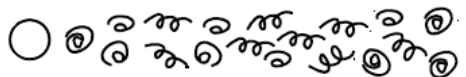


Ilustración 67 : Remolinos

- Temperatura

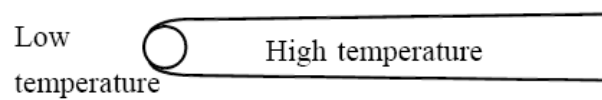


Ilustración 68 : Temperatura

- Concentración de masa
- Densidad, en caso de fluidos compresibles.

Para poder obtener buenos resultados mediante la simulación con CFD es muy importante comprender bien los siguientes conceptos:

7.1.1 Fluidos compresibles e incompresibles.

Un fluido compresible es el cual su densidad varía al cambiar la presión y la temperatura. Podemos considerar un fluido incompresible cuando cumple las siguientes condiciones:

$$Mc = \frac{V}{C} = \frac{V}{\sqrt{K * R * T}} < 0.3$$

Ecuación 18 : Número de Mach

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} \approx \frac{1}{2} Mc^2 < 0.045$$

Ecuación 19 : Condición

Donde,

Mc	:	Número de Mach	
V	:	Velocidad del fluido	(m/s)
C	:	Velocidad del sonido	(m/s)
K	:	Ratio calor específico	
R	:	Constante de los gases	(J/Kg*K)
T	:	Temperatura absoluta	(K)
$\Delta \rho$:	Variación Densidad	(Kg/m ³)
ρ	:	Densidad	(Kg/m ³)

7.1.2 Flujo laminar e flujo turbulento.

Un flujo es laminar cuando esta perfectamente ordenado, suave, es decir, el fluido se mueve en capas paralelas sin entremezclarse entre sí siguiendo unas líneas denominadas, líneas de corriente. En cambio, se denomina flujo turbulento cuando éste es caótico, desordenado, por lo que se forman remolinos.

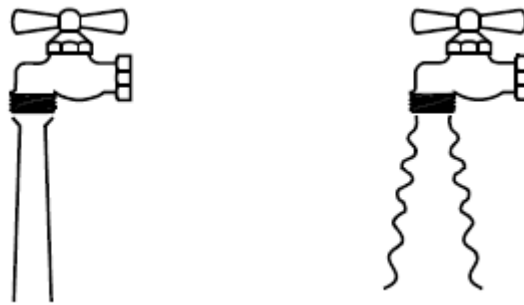


Ilustración 69 : Flujo laminar y turbulento

Remolinos: Se forman cuando el flujo es turbulento y afectan a la distribución de velocidad.

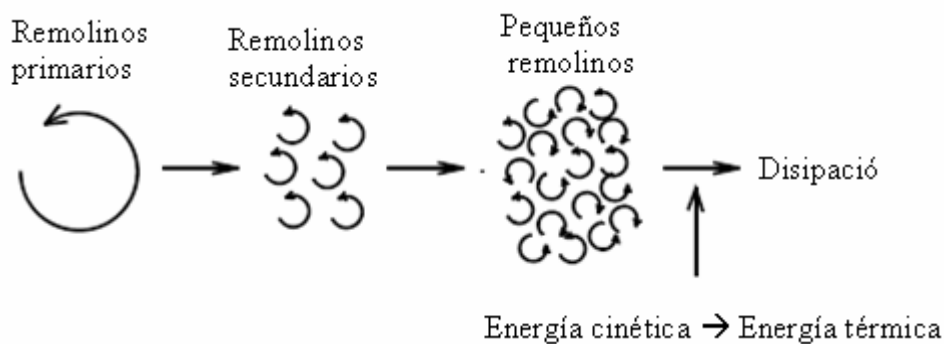


Ilustración 70 : Generación de remolinos

7.1.3 Modelo turbulento.

Para analizar el fenómeno turbulento, el CFD SC/tetra resuelve las ecuaciones de Reynolds Average Navier-stokes, RANS. El método de las RANS es una herramienta muy potente a la hora de predecir promedios en el tiempo de valores como pueden ser velocidad media o temperatura, en definitiva todos los valores importantes en ingeniería.

Al realizar el promedio dentro de un tiempo determinado que nos permita eliminar la fluctuación, podemos obtener el perfil de velocidad media como se ve en la siguiente ilustración.

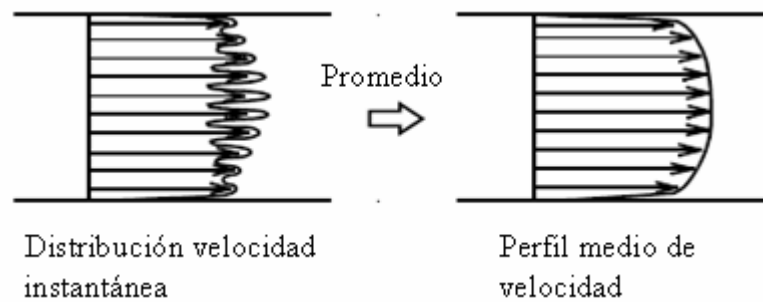


Ilustración 71 : Perfil velocidades

Esto nos permitirá descomponer el flujo sin tener en cuenta los remolinos de menor tamaño y así reducir el coste de la simulación. Hay varios modelos de cálculo para realizar este procedimiento.

El SC/Tetra utilizada el modelo de viscosidad de turbulencia μ_t . En éste CFD la viscosidad de turbulencia se obtiene usando el modelo k- ϵ , que ha sido creado semi-empíricamente. En este modelo, en lugar de calcular directamente la viscosidad de turbulencia, se calculan primero dos ecuaciones. La viscosidad de turbulencia se evalúa a partir de éstas dos ecuaciones:

- Energía de turbulencias (k)
- Ratio disipación de turbulencias (ϵ)

En el procedimiento numérico, k y ϵ se obtienen a partir de la distribución de la velocidad media. Sin embargo, para conocer la distribución de velocidad se necesita conocer la viscosidad de turbulencia. Por lo tanto, la viscosidad de turbulencia y la distribución de velocidad son calculadas simultáneamente mediante la iteración de estos dos pasos.

Éste método esta reconocido como una muy buena aproximación para reproducir resultados experimentales.

7.1.4 Numero de Reynolds.

Es el parámetro que nos indica si el flujo es laminar o turbulento, se define como:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu}$$

Ecuación 20 : Número de Reynolds

Donde:

u : velocidad característica (m/s)

L	:	longitud característica	(m)
μ	:	viscosidad	(Pa/s)
ρ	:	densidad	(kg/m ³)

Aproximadamente obtenemos,

si $Re < 2000$, el flujo es laminar

si $Re > 2000$, el flujo es turbulento

Físicamente podemos definir el número de Reynolds como el ratio entre las fuerzas viscosas y las fuerzas de inercia.

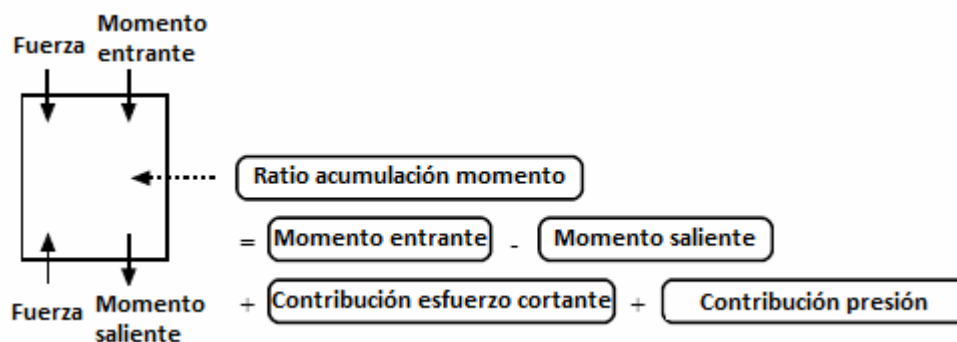
7.1.5 Análisis estático y análisis transitorio.

Un análisis transitorio es necesario cuando interesa el resultado en función del tiempo o las condiciones de contorno varían con el tiempo, un ejemplo podría ser como enfría una habitación una máquina de aire acondicionado. En cambio utilizaremos un análisis estático si el resultado no varía con el tiempo o las condiciones de contorno no dependen del tiempo. En el caso de la simulación de un ventilador utilizaríamos un análisis estático debido a que el resultado no depende del tiempo transcurrido.

7.1.6 Método de los volúmenes finitos.

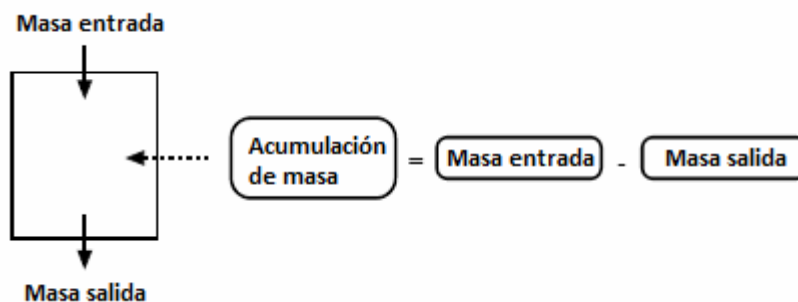
En un CFD se deben resolver las siguientes ecuaciones fundamentales, que son las que gobiernan los problemas físicos que queremos resolver, estas ecuaciones son:

- Ecuaciones de conservación del momento (Navier-stokes)



Ecuación 21 : Navier-stokes

- Ecuación de la continuidad:



Ecuación 22 : Ecuación de la continuidad

- Ecuación de conservación de la energía:



Ecuación 23 : Conservación de la energía

- Ecuaciones que representan el transporte de turbulencias.

Mediante el método de los volúmenes finitos resolvemos estas ecuaciones convirtiéndolas en una forma de conservación integral que se expresan en cada fracción del elemento descompuesto, estas fracciones se llaman volumen de control.

7.2 Diseño del modelo en CAD.

Al analizar un elemento o sistema con un CFD es muy importante la manera en la que está hecho el modelo CAD, ya que un modelo con muchos detalles tendrá un coste computacional más elevado de lo necesario. Por este motivo se deberá simplificar el modelo al máximo, eliminando los detalles que no influyan en la simulación. Para un mejor entendimiento se van a mostrar las modificaciones hechas en un soporte de ventilador para un ensayo en CFD:

- Pieza original (sin simplificación).

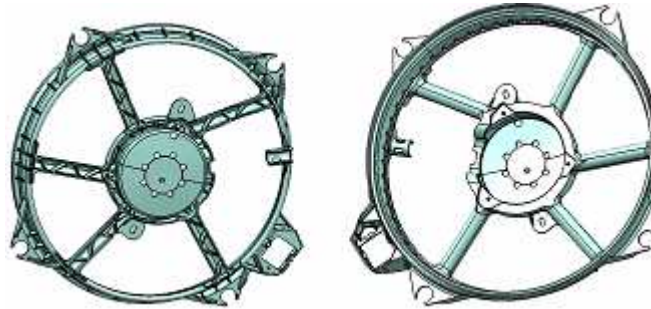


Ilustración 72 : Soporte sin modificar

- Pieza modificada para el análisis en CFD.

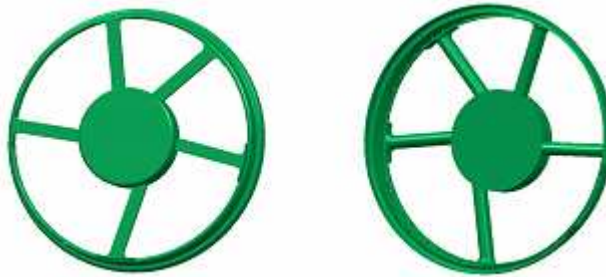
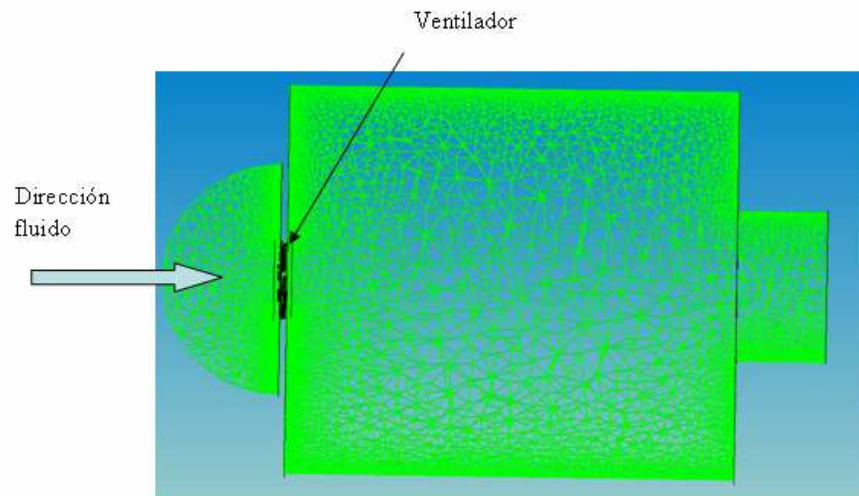


Ilustración 73 : Soporte modificado

Como se puede ver se han eliminado todos los nervios estructurales, pestañas y anclajes. Si no se hubiera eliminado estos elementos a la hora de realizar el mallado, éstos también se hubieran mallado provocando que el tamaño de la malla fuera muy superior. El tratado del modelo 3D es una parte muy importante del proceso de simulación y casi se puede decir que es el que conlleva más tiempo y esfuerzo.

7.3 Creación del mallado del modelo.

El primer paso de un análisis en CFD es realizar el mallado del dominio a estudiar, es decir, descomponer el dominio en celdas en 3 dimensiones. A la hora de realizar el mallado es necesario analizar bien el problema que queremos resolver, la precisión que necesitamos del resultado y el gasto computacional. Antes de empezar a crear la malla debemos definir el dominio a estudiar que vamos a mallar, es decir, la cantidad de fluido que queremos estudiar. Para este caso se ha generado un dominio lo suficientemente grande para que no tenga influencia en el ventilador y en el aire que mueve este.



Il·lustració 74 : Mallado del dominio a estudiar

En el caso del análisis de las características aerodinámicas de un ventilador, no es necesario mallar el interior de éste sino el aire a su alrededor. En cambio si quisiéramos analizar los esfuerzos sufridos por la fuerza centrífuga o analizar las deformaciones por temperatura si que deberíamos mallar el interior del ventilador. En la figura siguiente podemos observar el mallado del dominio de aire alrededor de un ventilador.



Il·lustració 75 : Mallado del ventilador

Generalmente hablando, cuando la malla es más fina, más precisión tiene el cálculo y cuanto más gruesa menos precisión. Para éste tipo de análisis es muy común realizar un mallado más fino cerca del elemento a estudiar y a medida que nos alejamos de él aumentar el tamaño de las celdas. En la siguiente figura podemos ver el perfil de un pala de un ventilador y el dominio de aire de su alrededor.

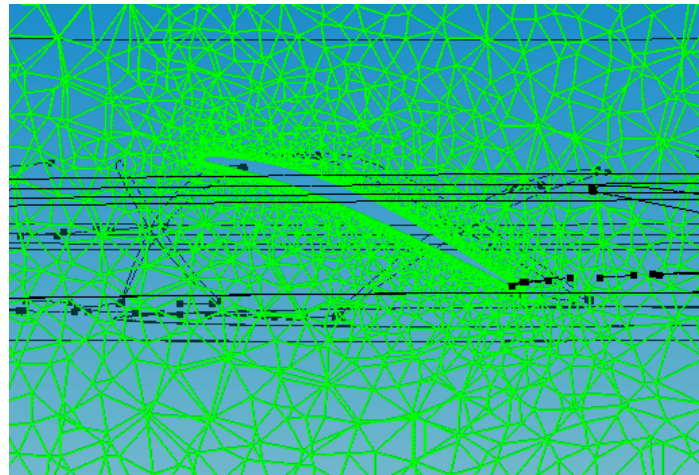


Ilustración 76 : Mallado del perfil del ventilador

Para crear el mallado se ha de seguir el siguiente orden:

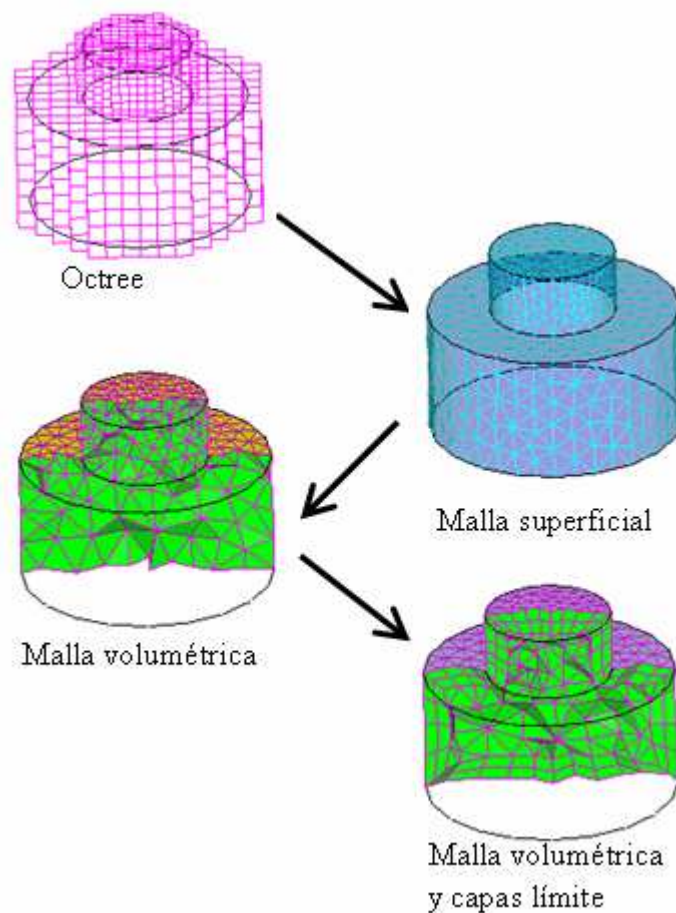


Ilustración 77 : Metodología para crear el mallado

- Octree: son unos cuadrados que controlan la resolución final de la malla
- Malla superficie: es una malla de la superficie que se crea a partir del octree.

- Malla volumen: malla en 3d generada a partir de las dos anteriores
- Capas límite: se insertan dichas capas paralelas a las paredes para aumentar la precisión del cálculo cerca de dichas paredes. La relación óptima aproximada entre el octree y las capas límites es de 1/3.

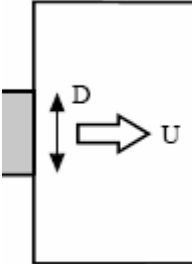
7.4 Condiciones de análisis.

Las condiciones de contorno las podemos definir como las condiciones que se han de introducir para caracterizar los parámetros matemáticos y físicos del análisis. Estos parámetros son:

- Propiedades del material: Dependiendo de la naturaleza del material y del tipo de estudio introduciremos la densidad, viscosidad, conductividad térmica y otras propiedades.
- Ecuaciones físicas a resolver.
- Análisis estático o transitorio.
- Condiciones iniciales: Son las condiciones que tenemos dentro del dominio antes de empezar la simulación, por ejemplo pueden ser temperatura o presión.
- Condiciones de entrada del dominio: Definiremos si el flujo es laminar o turbulento a la entrada con sus parámetros. También podemos definir velocidad, caudal, presión u otras.
- Condiciones de salida: Definimos las condiciones a la salida del dominio.
- Condiciones en las paredes: Aquí indicamos si actúan las fuerzas de fricción o la conducción térmica en las paredes, así como la interacción entre materiales diferentes.

Para realizar los diferentes estudios que presentaré a continuación he utilizado la siguiente configuración de las condiciones de análisis.

- Material: Aire incompresible:
- Densidad = 1.206 Kg./m³
- Viscosidad = 1.83e-005 Pa.s
- Ecuaciones: Modelo de viscosidad de turbulencia, (RNG K-EPS).
- Análisis estático con un máximo de 1500 ciclos.
- Condiciones iniciales: condiciones atmosféricas
- Condiciones de entrada: Caudal másico en la entrada con los parámetros de turbulencia $k=0.0002 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y $\varepsilon=2.4\text{e-}005\text{m}^2/\text{s}^3$. Estos valores se obtienen mediante las siguientes formulas:



$$k = \frac{u^2}{100}$$

$$\varepsilon = \frac{0.09^{\frac{3}{4}} \cdot k^{\frac{3}{2}}}{\ell_m}$$

($\ell_m \approx 0.07D$)
D : Equivalent diameter

Ilustración 78: Cálculo de K y ε

Siendo:

D: Diámetro del ventilador (m)
u: Velocidad del aire (m/s)

- Condiciones de salida: Presión atmosférica.
- Condiciones en las paredes: Actúan las fuerzas de fricción, debido a que tenemos un flujo turbulento.

En las simulaciones para el cálculo aerodinámico no he definido material al ventilador, debido a que al no estudiar ni temperatura ni resistencia estructural solo me interesa conocer el comportamiento del aire a su alrededor. En cambio cuando quiera estudiar como se comporta a diferentes temperaturas, la eficacia de la estructura del hub a la hora de refrigerar el motor o su resistencia estructural si que tendré que mallar el interior de todos los elementos y aplicarle sus respectivos materiales.

8 Diseño final y estudios realizados.

En este apartado se presentará un ejemplo de los pasos seguidos en el diseño de un soporte y en especial de un ventilador. Hay que decir, que el diseño de este conjunto es un trabajo muy complejo en el cual se necesitan realizar muchas pruebas y disponer de muchos recursos tanto de programas de simulación como de laboratorios para realizar ensayos físicos. En el caso de este proyecto a día de hoy todavía no se han realizado piezas físicas y por lo tanto no se han podido llevar a cabo ensayos físicos aerodinámicos ni de acústica. Además se ha destinado los recursos al diseño del ventilador y un boceto del soporte debido a que a día de hoy no se tienen definidos los diferentes anclajes y sujeciones que deberá llevar este último y que condicionan su diseño. A continuación se presentaran los siguientes datos:

- Presentación de las características principales del GMV
Analizaremos las especificaciones del cliente
Requisitos del motor eléctrico, V e I.
Ruido máximo permitido
Dimensiones tanto del soporte como del ventilador.
Curva Caudal-Presión.
Tipo de GMV
Par de funcionamiento
- Diseño aerodinámico del ventilador.
Ventilador 1
Ventilador 2
Ventilador 3
Ventilador 4
- Diseño de los refuerzos del hub.
- Estudios de inyección
- Estudios estructural

8.1 Características del GMV.

GMV single y aspirante

Tipo motor: Motor con escobillas de 4 polos.

Diámetro motor: 100mm

Intensidad máxima: 20A

Voltaje nominal: 13 V

Velocidad de giro: 2500 rpm

Par nominal: 1.4 Nm

Rendimiento motor: 70%

Diámetro total del ventilador: 440mm

Dimensión axial total: 38 mm

8.2 Estudios aerodinámicos del ventilador.

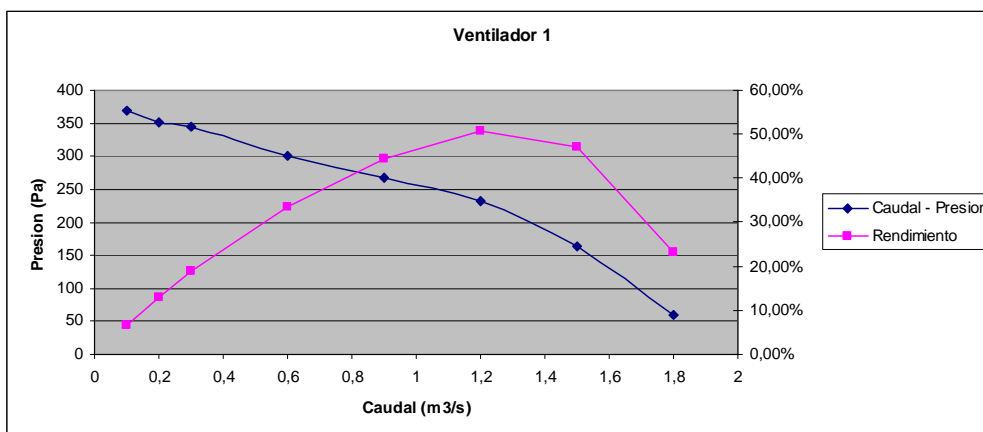
Una vez he definido el tipo de ventilador el cual parece óptimo para este proyecto se analizará con el CFD el diseño preliminar. Para este primer diseño se ha partido de un ventilador de similares características, el cual se adaptará a los requisitos del cliente.

Dicho ventilador, tiene curvatura hacia atrás y se utiliza con motores que funcionan con un par mayor al del objetivo del diseño, para obtener mayores valores de potencia aerodinámica, con lo que se tendrá que disminuir el par, manteniendo la velocidad y la eficiencia, o en su caso aumentando la eficiencia. Como objetivo de diseño se necesita conseguir un rendimiento máximo por encima del 47% sin contar las pérdidas producidas en el soporte, es decir, ensayando solo el ventilador.

8.2.1 Datos aerodinámicos del ventilador 1.

Qv(m3/s)	ΔP (Pa)	RPM	Par (Nm)	P.aer. (W)	P.mec (W)	Rendimiento
0,1	368	2500	1,81	30,7	473,6	6,47%
0,2	351	2500	1,73	58,5	452,7	12,92%
0,3	344	2500	1,74	86,0	455,3	18,89%
0,6	300	2500	1,71	150,0	447,5	33,52%
0,9	268	2500	1,73	201,0	452,7	44,40%
1,2	233	2500	1,76	233,0	460,5	50,59%
1,5	164	2500	1,67	205,0	437,0	46,91%
1,8	60	2500	1,48	90,0	387,3	23,24%

Tabla 7: Datos aerodinámicos ventilador 1



Gràfica 2 : Curva característica ventilador 1

En este caso el par producido por el ventilador es demasiado elevado, aunque el rendimiento sea bastante bueno. La pendiente de la curva también es correcta para poder trabajar en la zona de rendimiento alto.

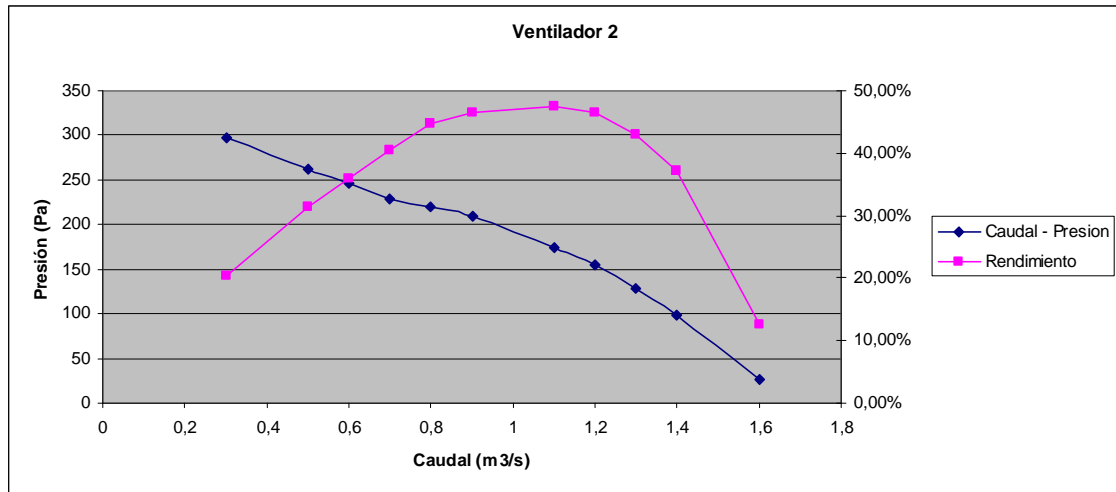
8.2.2 Datos aerodinámicos del ventilador 2.

Para realizar los primeros estudios se utiliza un modelo de palas simétricas, debido a que el rendimiento del ventilador no se ve afectado y así se ahorra mucho en recursos de cálculo. Otra ventaja es que a la hora de hacer las modificaciones en el ventilador solo se debe modificar una pala.

En esta modificación se ha disminuido el ángulo de ataque a 28°, antes era 32°, en el hub manteniendo la misma relación en el resto de la pala. Con esto se espera disminuir la presión sobre la pala y así el par producido por esta.

Qv(m³/s)	ΔP (Pa)	RPM	Par (Nm)	P.aer. (W)	P.mec (W)	Rendimiento
0,3	297,2	2500	1,7	90,8	447,5	20,30%
0,5	262	2500	1,6	133,5	426,5	31,29%
0,6	246	2500	1,6	150,4	418,7	35,92%
0,7	228	2500	1,5	162,6	403,0	40,35%
0,8	220	2500	1,5	179,3	400,4	44,79%
0,9	210	2500	1,6	192,5	413,4	46,57%
1,1	174	2500	1,6	195,0	410,8	47,46%
1,2	154	2500	1,6	188,3	405,6	46,42%
1,3	128,5	2500	1,5	170,2	395,1	43,07%
1,4	98,8	2500	1,5	140,9	379,4	37,14%
1,6	26,4	2500	1,3	43,0	340,2	12,65%

Tabla 8 : Datos aerodinámicos ventilador 2



Gràfica 3 : Curva característica ventilador 2

Presión:

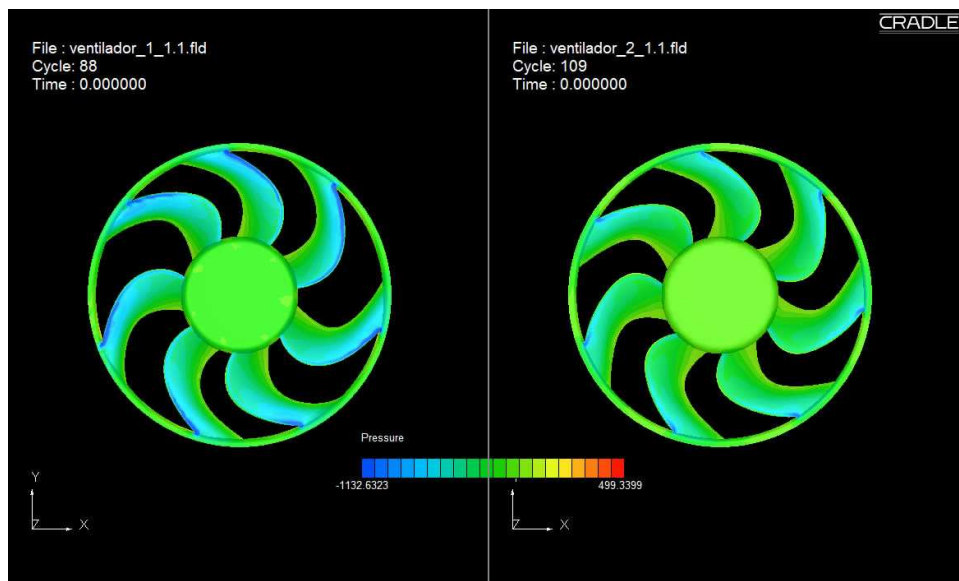


Ilustración 79 : Presión

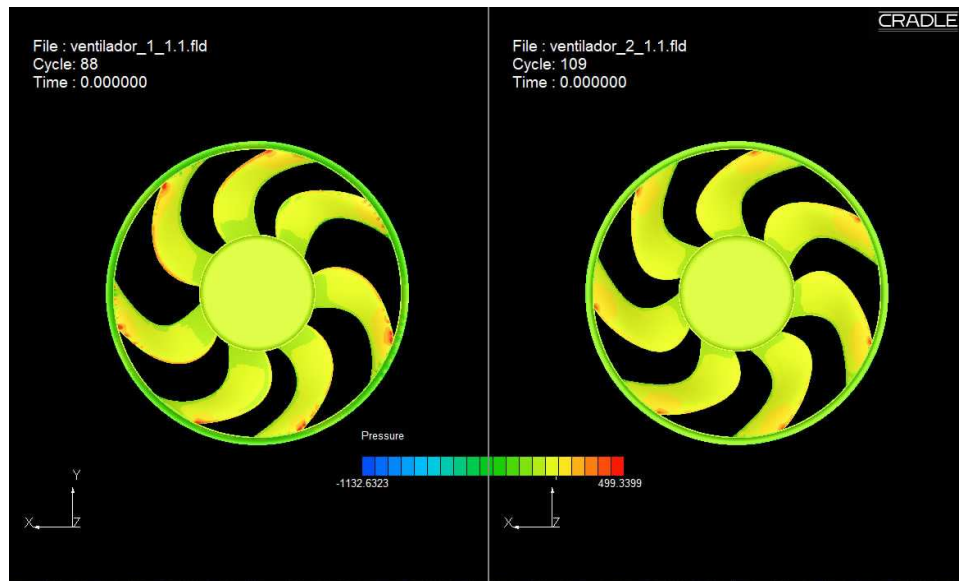


Ilustración 80 : Presión

En las fotografías se puede observar claramente como la presión ejercida sobre el ventilador 2 es menor que la del ventilador 1. Se puede observar que la zona donde se produce esa presión es en la zona cercana al anillo, es debido a que allí la velocidad es mayor. Estas zonas son las que debemos de modificar para conseguir el objetivo.

También es de utilidad para conocer si el rendimiento aerodinámico es bueno, saber la cantidad de energía disipada por el ventilador.

Ratio disipación de turbulencia:

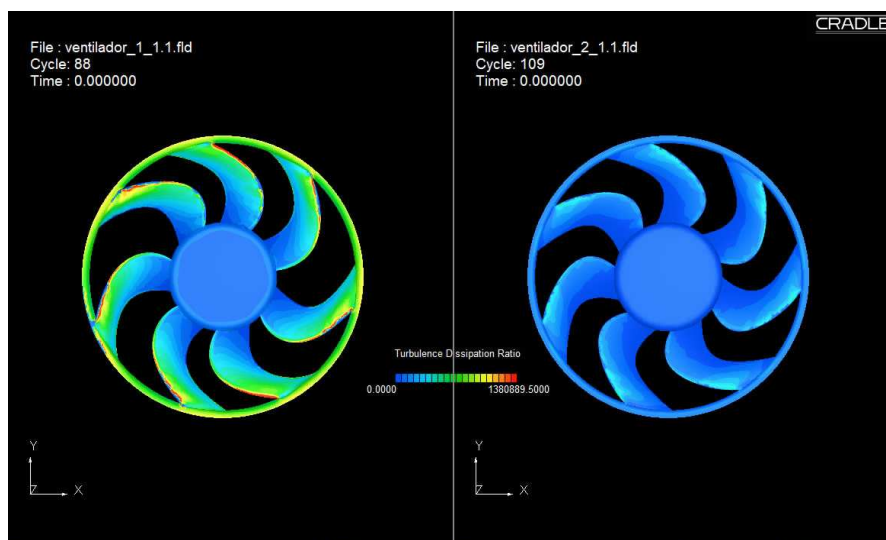


Ilustración 81 : Disipación de energía

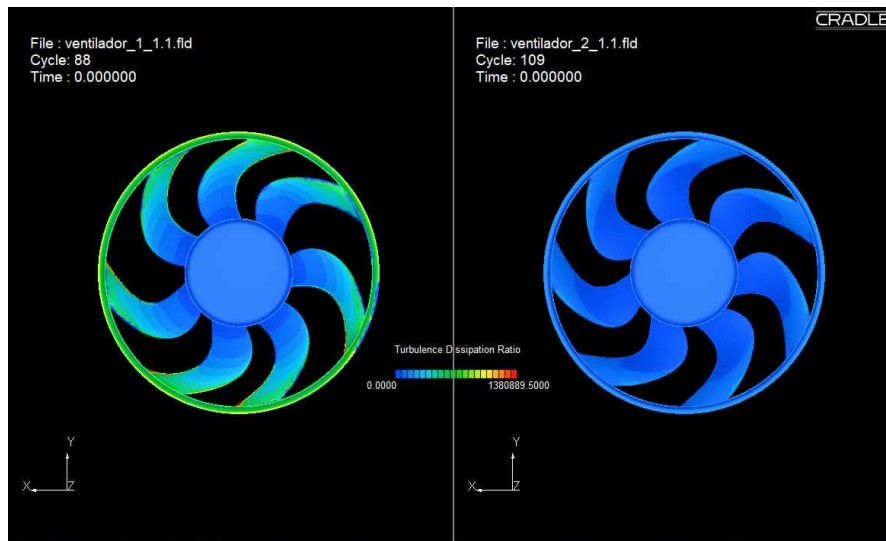


Ilustración 82: Disipación energía

Con esta magnitud obtenemos una idea del tamaño de los remolinos provocados por las palas, en resumen, de la energía que se disipa mediante éstos.

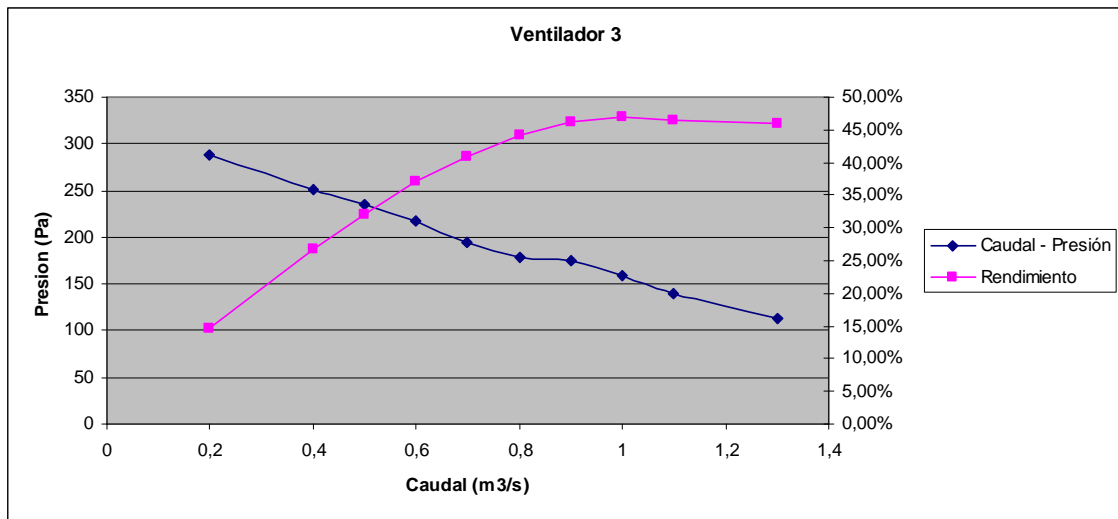
Como conclusión se puede decir que con el ventilador 2 se ha conseguido disminuir el par pero no lo suficiente. Todas las fotografías de valores de presión y disipación de energía están tomadas con valores para un caudal de $1\text{m}^3/\text{s}$, se debe de tener en cuenta ya que a este caudal el rendimiento del ventilador 2 es mayor al del ventilador 1 pero a caudales mayores es superior el del ventilador 1.

8.2.3 Datos aerodinámicos del ventilador 3.

Para el ventilador 3, se ha centrado las modificaciones en disminuir la sección en el centro y suavizarla. También se ha disminuido el ancho de la pala en la zona del anillo para así disminuir el par.

Qv(m3/s)	ΔP (Pa)	RPM	Par (Nm)	P.aer. (W)	P.mec (W)	Rendimiento
0,2	288	2500	1,5	58,7	403,0	14,56%
0,4	250,5	2500	1,5	102,1	382,0	26,72%
0,5	234,3	2500	1,4	119,3	371,6	32,12%
0,6	218,3	2500	1,4	133,4	358,5	37,22%
0,7	195,3	2500	1,3	139,3	340,2	40,94%
0,8	178,5	2500	1,3	145,5	329,7	44,12%
0,9	175,8	2500	1,3	161,2	348,0	46,32%
1	159	2500	1,3	162,0	345,4	46,90%
1,1	139	2500	1,3	155,8	334,9	46,51%
1,3	113,3	2500	1,3	150,1	327,1	45,88%

Tabla 9 : Datos aerodinámicos ventilador 3



Gràfica 4 : Curva característica ventilador 3

Presión:

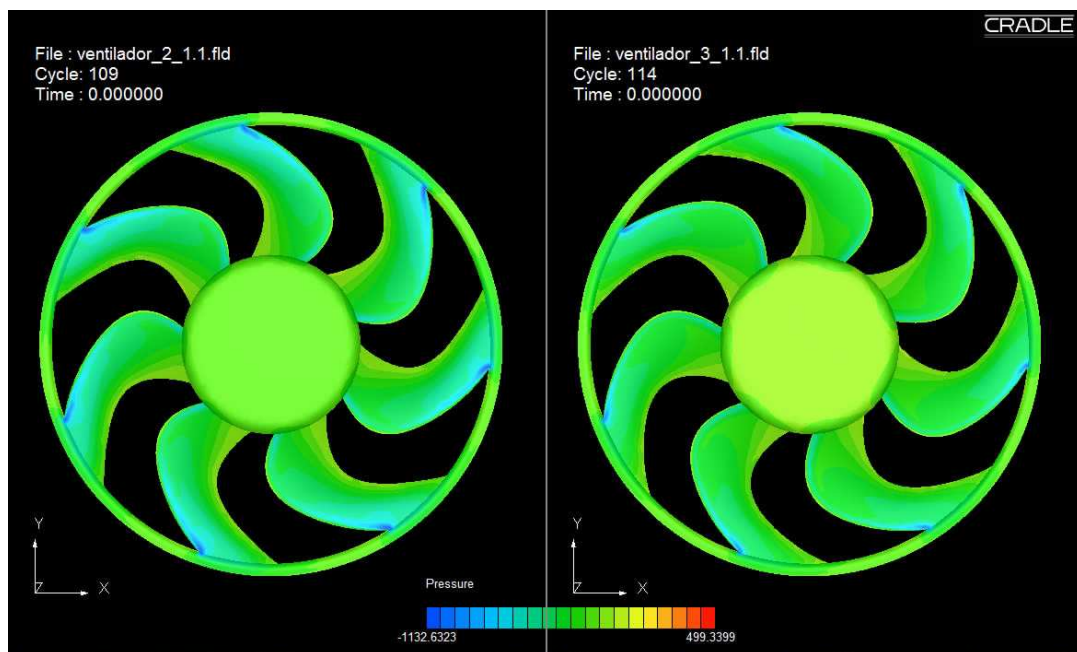


Ilustración 83 : Presión

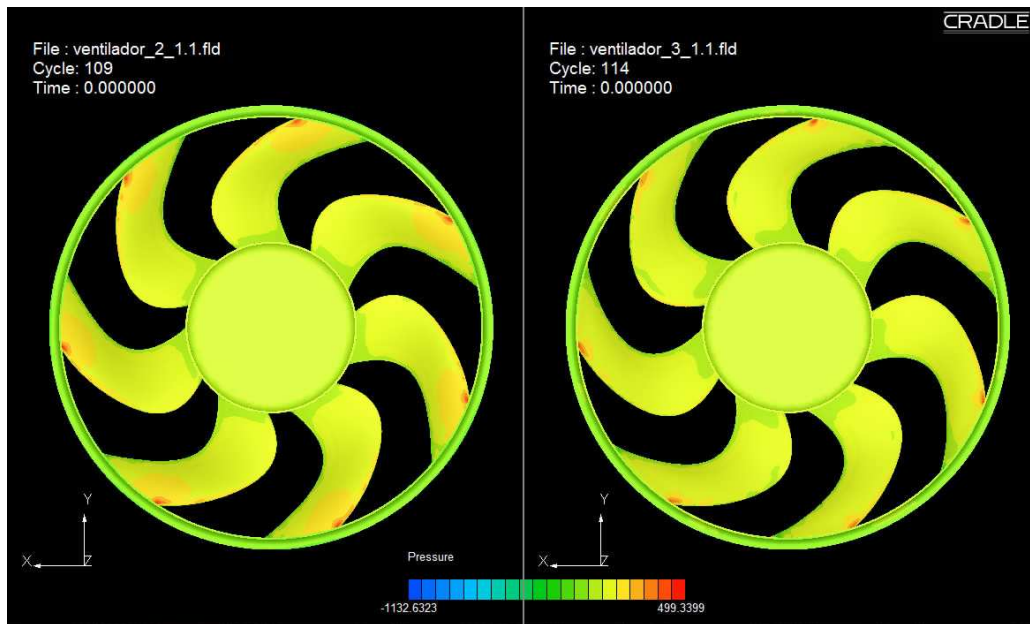


Ilustración 84 : Presión

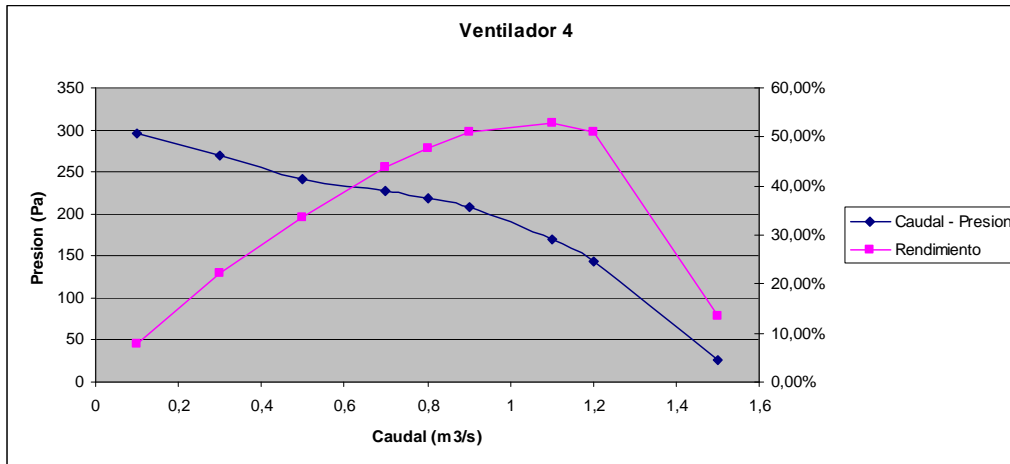
Se observa que en el ventilador 2 hay una zona de más presión cerca del anillo exterior y en el ventilador 3 ésta ha disminuido. Gracias a ello se ha conseguido una disminución del par sin verse afectado el rendimiento.

8.2.4 Datos aerodinámicos del ventilador final.

En este caso, partiendo del ventilador 3 se realizará el modelo con palas asimétricas que será el definitivo. Se ha de tener en cuenta que aunque las palas sean asimétricas deben de asegurar que el ventilador este equilibrado.

Qv(m3/s)	ΔP (Pa)	RPM	Par (Nm)	P.aer. (W)	P.mec (W)	Rendimiento
0,1	295	2500	1,5	30,1	392,5	7,66%
0,3	269	2500	1,4	82,2	371,6	22,13%
0,5	242	2500	1,4	123,3	366,3	33,65%
0,7	228	2500	1,4	162,6	371,6	43,76%
0,8	219	2500	1,4	178,5	374,2	47,70%
0,9	208	2500	1,4	190,7	374,2	50,97%
1,1	169	2500	1,4	189,4	358,5	52,83%
1,2	144	2500	1,3	176,0	345,4	50,97%
1,5	26	2500	1,1	39,7	293,1	13,56%

Tabla 10 : Datos aerodinámicos ventilador final



Gráfica 5 : Curva característica ventilador final

En este caso, respecto al anterior se han separado las palas de acuerdo con el diseño de partida pero con las palas que obtenidas en el diseño 3. Ha éstas se les ha modificado la parte cercana del anillo en busca de más velocidad para conseguir un aumento de caudal aumentando también el par hasta el valor nominal de trabajo.

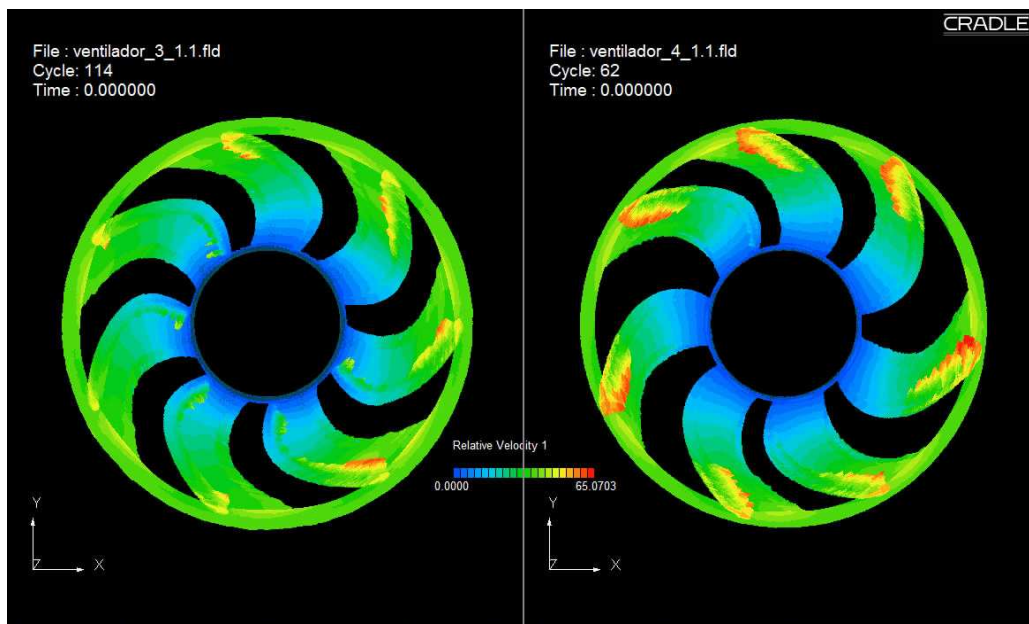


Ilustración 85 : Velocidad

En la imagen superior se puede ver el aumento de la velocidad cerca del anillo. También se ha conseguido con la separación irregular de las palas una velocidad más uniforme en todas las palas. Esto es debido a que con la

configuración asimétrica de las palas se puede compensar el ángulo de entrada que provoca la pala anterior.

Como conclusión se puede decir que se ha conseguido adaptar un ventilador ya existente del mismo diámetro para trabajar en el rango que el cliente necesita modificando los parámetros de diseño explicados en el tema 4. También se ha de destacar que los resultados mostrados son un resumen de las pruebas hechas, debido a que para llegar a un buen resultado se requiere de muchos estudios, tanto aerodinámicos como estructurales y de inyección.

8.3 Diseño de los refuerzos interiores del hub.

En este punto, que aparentemente no tiene tanta importancia porque no influye en el rendimiento aerodinámico del ventilador, se ha dedicado gran tiempo. El principal motivo es que se marcó como objetivo conseguir una muy buena refrigeración del motor que me permita disipar la mayor parte del calor posible que desprende el motor eléctrico. Con ello obtendré un aumento del rendimiento del motor eléctrico y como consecuencia un mayor rendimiento del GMV, así como una menor emisión de CO₂.

El estudio se ha dividido en tres partes: Estudiar las diferentes configuraciones de los parámetros de los refuerzos, una vez encontrada la mejor configuración optimizar la geometría de los refuerzos y por último realizar una demostración de la circulación de aire producida por dichos refuerzos con los elementos internos del motor y sus temperaturas.

8.3.1 Estudio de los parámetros de los refuerzos.

Para realizar el estudio se ha simplificado el motor de tal manera que se ha realizado una revolución de la geometría externa de éste.

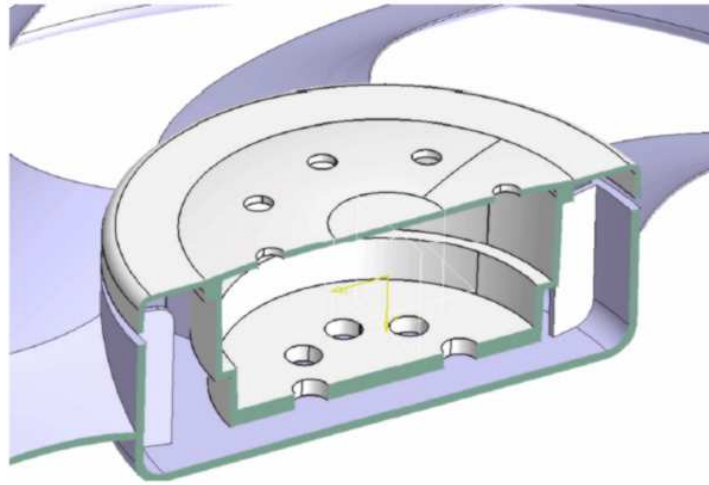


Ilustración 86 : Conjunto para calculo del ventilador y parte exterior del motor

El motor dispone de 8 agujeros de entrada de aire y 8 de salida. La superficie total de los agujeros de salida es de 0.0008 m² y la de los de entrada es menor 0.0005 m². El objetivo es ver caudal de salida del aire por los agujeros de salida, lo cual permitirá comparar las diferentes configuraciones.

8.3.1.1 Prueba 1 y 2

En estas pruebas se ha analizado el efecto de aumentar al máximo posible la sección de los refuerzos laterales.

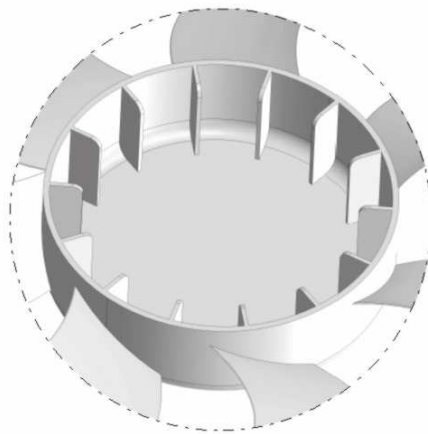


Ilustración 87 : Detalle refuerzos Hub

Para la prueba 1 se ha utilizado refuerzos con un radio de 66mm y para la prueba 2 el radio es de 63.5mm, que es el mínimo posible porque sino estaría demasiado cerca del motor.

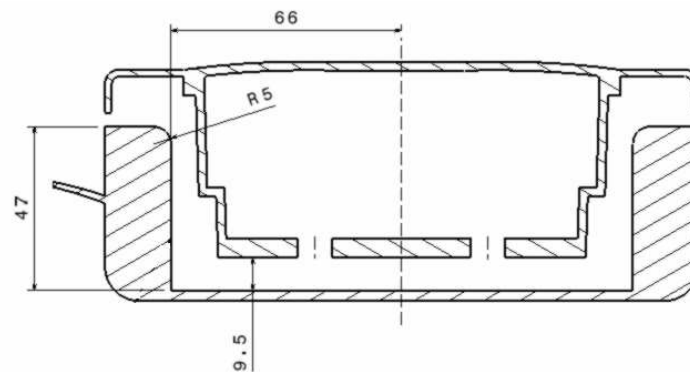


Ilustración 88 : Esquema constructivo prueba 1

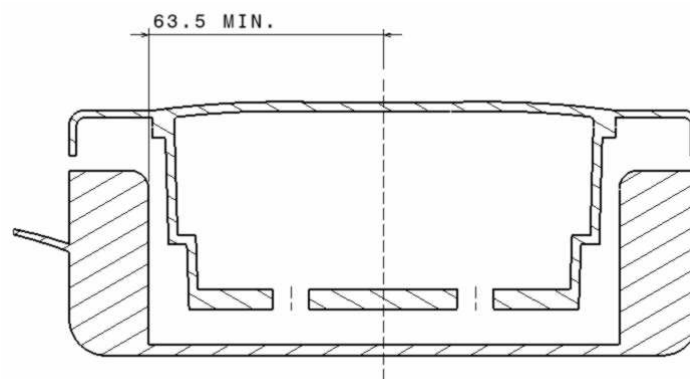


Ilustración 89 : Esquema constructivo prueba 2

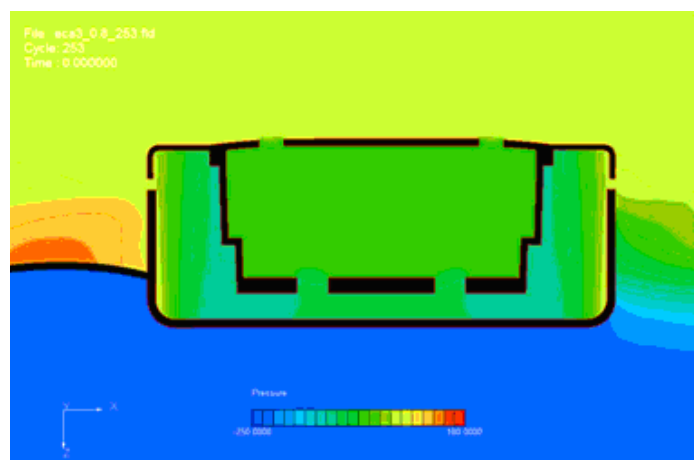


Ilustración 90 : Presión prueba 1

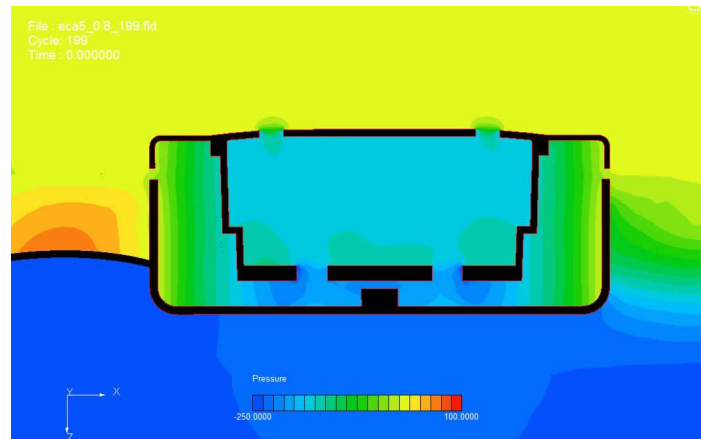


Ilustración 91 : Presión prueba 2

Como conclusión vemos que la en la prueba 2 se produce una depresión mayor en la zona de los agujeros de salida y como consecuencia una mayor evacuación de aire del interior del motor.

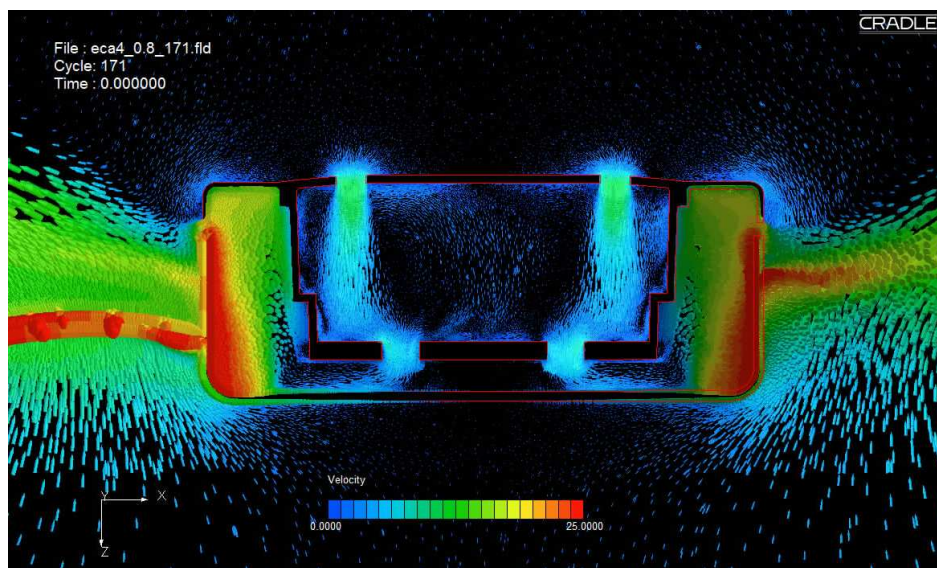


Ilustración 92 : Gradientes de velocidad

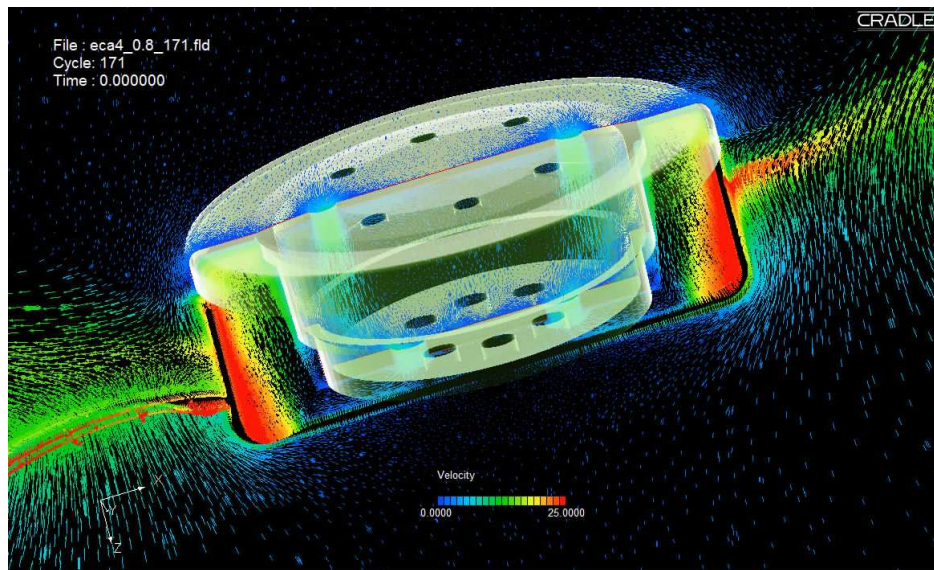


Ilustración 93 : Gradientes de velocidad

En las fotos anteriores se puede ver los gradientes de velocidad al rededor del motor. Esto es útil para ver que zonas quedarán más refrigeradas.

8.3.1.2 Prueba 3

En esta prueba se ha colocado una tapa encima de los refuerzos de la base del hub para así provocar una mayor depresión, gracias a un aumento de la velocidad. También se han añadido unos agujeros en la base del hub para que el aire salga por la zona donde su velocidad es mayor.

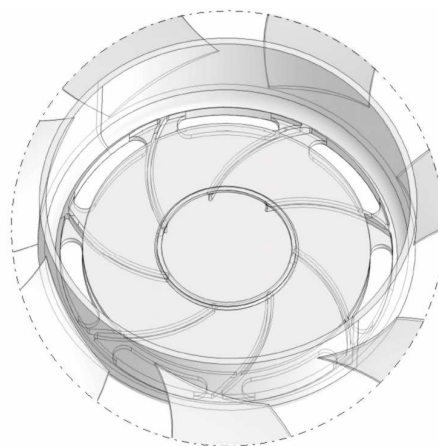


Ilustración 94 : Detalle prueba 3

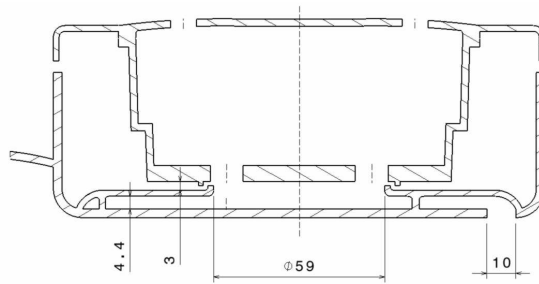


Ilustración 95 : Esquema constructivo prueba 3



Ilustración 96 : Presión prueba 3

Como se ve en la foto, hay un gran aumento en la depresión respecto a las otras dos variantes, es decir, esta configuración nos permitirá disipar una mayor cantidad de calor de dentro del motor eléctrico gracias a una mayor circulación de aire.

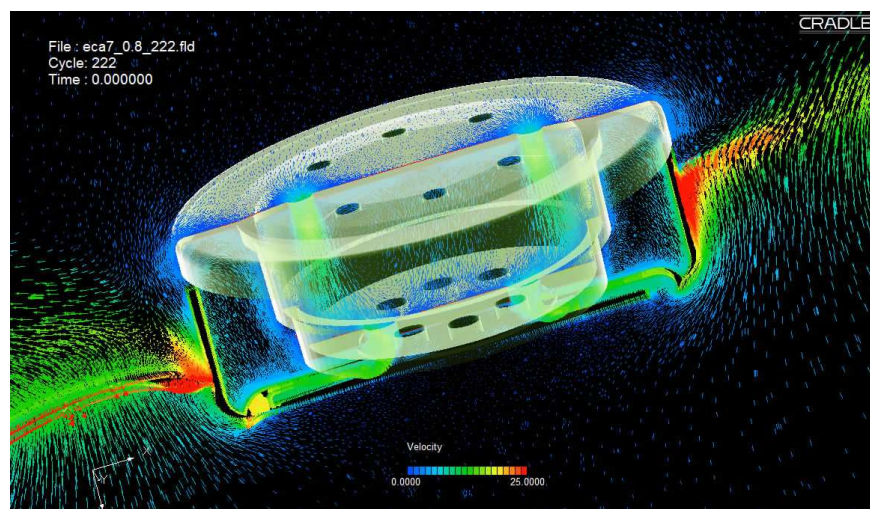


Ilustración 97 : Velocidad prueba 3

8.3.2 Optimización de los refuerzos:

Para ello calcularemos diferentes opciones de álabes curvados hacia atrás, que presentan las siguientes ventajas:

- La estela se comprime en la cara de succión.
- Sustentación en el sentido de giro. Menor momento resistente.
- Mayor estabilidad a cambios de caudal.

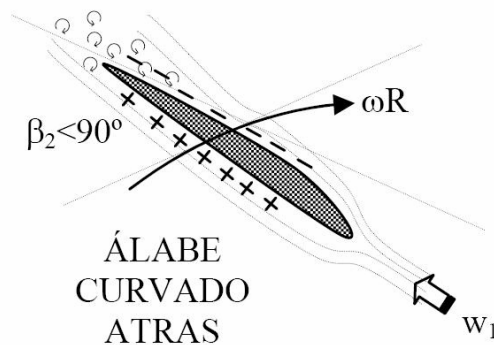


Ilustración 98 : Esquema álabe

Para ello calcularemos punto a punto la forma del perfil mediante los triángulos de velocidades.

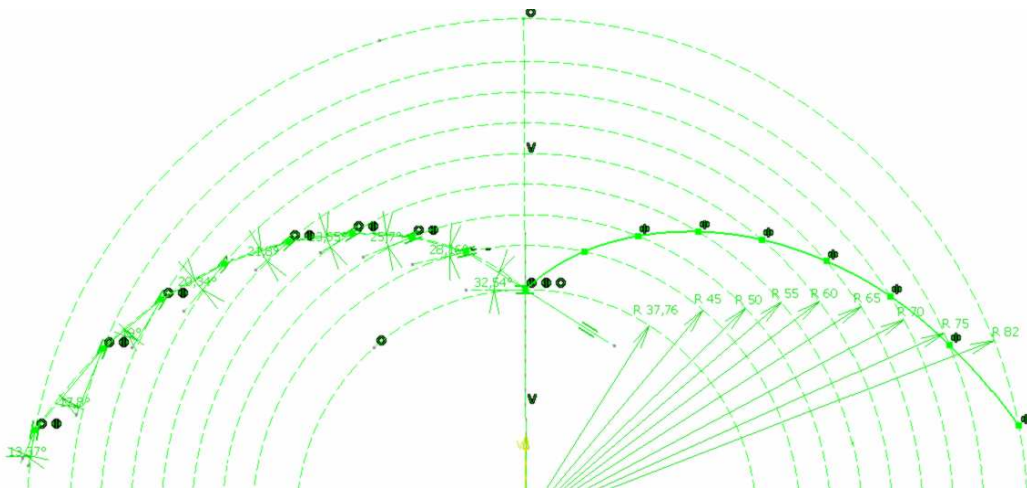


Ilustración 99 : Puntos utilizados

Para el cálculo de los puntos he realizado esta tabla, que me dará los valores de los ángulos del triángulo de velocidades. Los datos de entrada son los que están en amarillo.

Número de álabes	14
Radio raíz en metros	0,03776
Radio punta en metros	0,082
Caudal nominal en m ³ /s	0,04
Velocidad de giro (rpm)	2500
Factor de deslizamiento	0,904761905
Radio medio	0,05988
$Vn1=Q/\pi(Rp^2-Rr^2)$	2,403162913
$u=WR$	15,67654734
$Vt1=FR*u$	14,18354283
$B1=\arctan(Vn1)/(u-Vt1)$	1,014886312
r en metros	0,03776
$B2=\arctan(Vn1/(1-FR)*rpm*2*PI/60*r)$	1,197407255

Tabla 11 : Tabla para ángulos de los triángulos de velocidades.

Una vez hechas las formas, para agilizar el cálculo se ha simplificado el problema estudiando solo la siguiente geometría girando a 2500 vueltas para así observar que opción movía más aire.

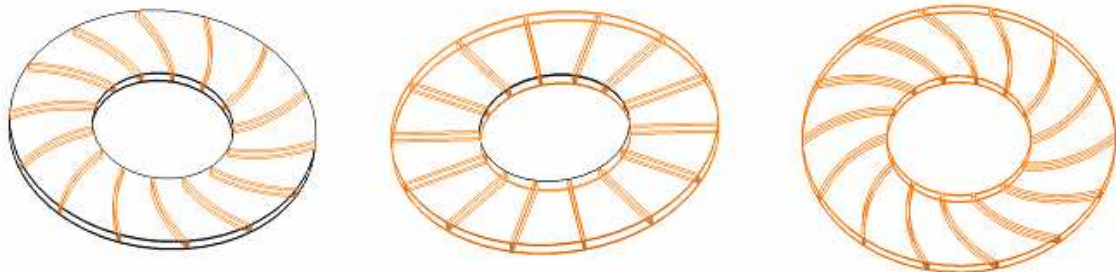


Ilustración 100 : Álabes 2, 1 y 3

Como base he utilizado 14 refuerzos, ya que al utilizar un ventilador de 7 palas, estructuralmente creo que es la óptima.

Para evaluar el más eficiente se ha calculado el caudal que puede absorber cada uno mediante la velocidad del aire a su entrada.

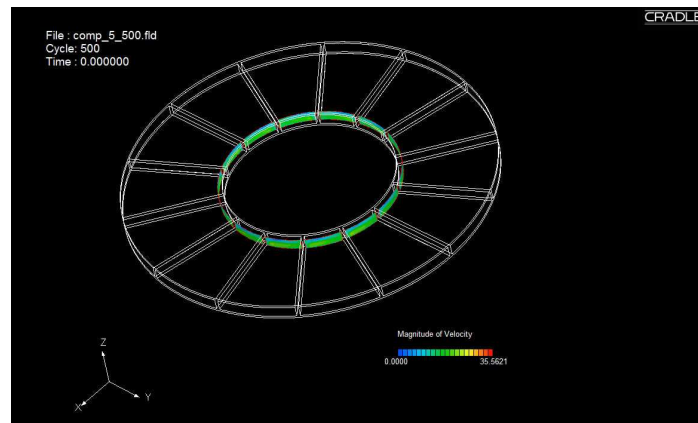


Ilustración 101 : Velocidad de aspiración del álabes 1

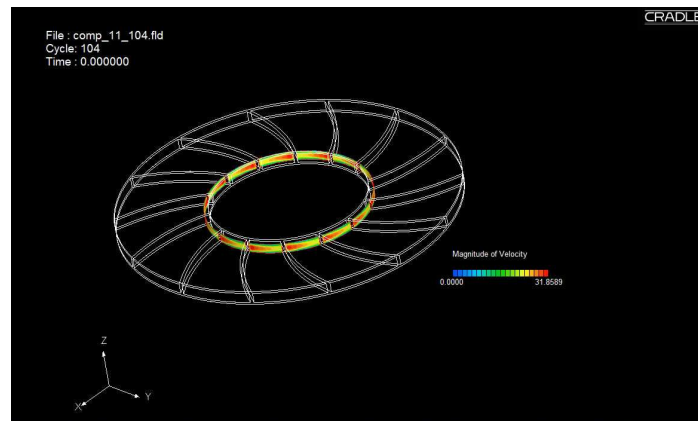


Ilustración 102 : Velocidad de aspiración del álabes 2

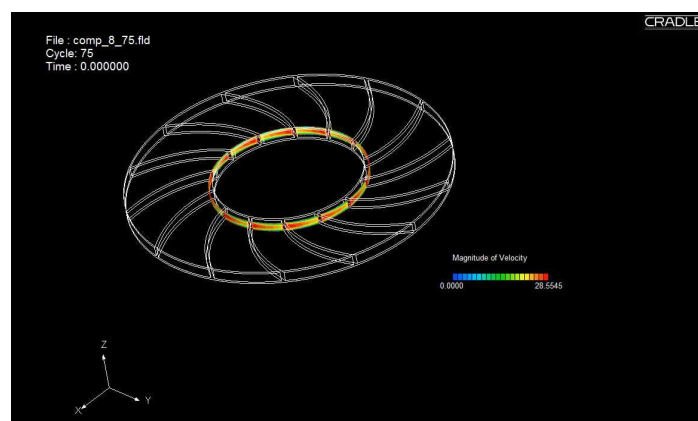
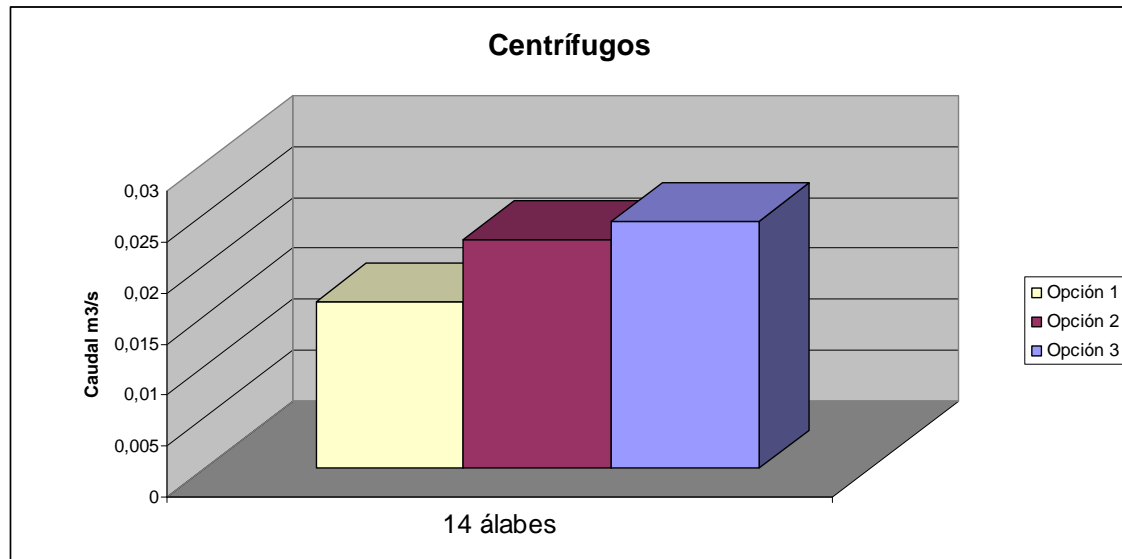


Ilustración 103 : Velocidad de aspiración del álabes 3



Gráfica 6 : Comparación de los 3 resultados

Como se puede observar la opción 3 es con la que conseguimos más caudal.

8.3.3 Simulación del flujo dentro del motor eléctrico

Como conclusión al estudio se realizará una simulación de la refrigeración producida por el efecto de los refuerzos en el motor eléctrico. Para ello se montará el diseño de los refuerzos en un ventilador de serie. Para obtener valores reales se simulará el funcionamiento del motor dentro del capo del coche donde la temperatura ambiente es de 100°C y el motor eléctrico tiene unas pérdidas de 120W aproximadamente, repartidas de la siguiente manera:

Calculo pérdidas (W) Motor eléctrico

Pérdidas T	60	80	100	120
Escobillas	6,6	9,6	12	14,4
Colector	15	20	25	30
Rodamiento	4,2	5,6	7	8,4
Paquete	6	8	10	12
Bobinado	28,2	37,6	47	56,4

Tabla 12 : Pérdidas en el motor eléctrico

La temperatura de inicio de todos los componentes es de 100°C. A diferencia de las otras simulaciones presentadas anteriormente realizadas con el CFD, en este caso al estudiar la temperatura se ha de definir el material de cada componente y mallarlos por dentro. La diferencia respecto al aire es que en el interior de los sólidos no hay capas límite.

	Densidad (kg/m3)	Calor específico (J/(kg*k))	Conductividad térmica (W/(mk))
Ferritas	4700-5000	725	1,25
Cobre	8900	390	377
Hierro	7900	490	50
Aire	1,293	1,01	0,027
Paquete platinas	7800	500	37

Tabla 13 : Propiedades térmicas de los materiales

Una vez definido lo anterior se ha realizado un estudio con las mismas condiciones utilizadas en los estudios aerodinámicos pero añadiéndole el cálculo de temperatura.

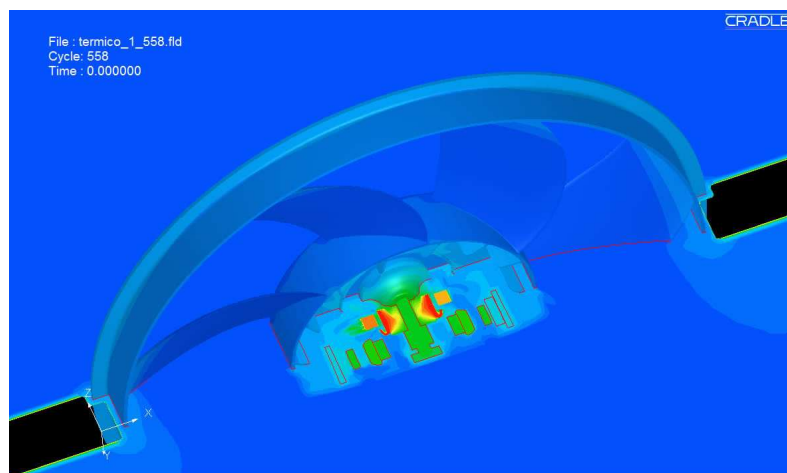


Ilustración 104 : Sección de la temperatura dentro del motor eléctrico

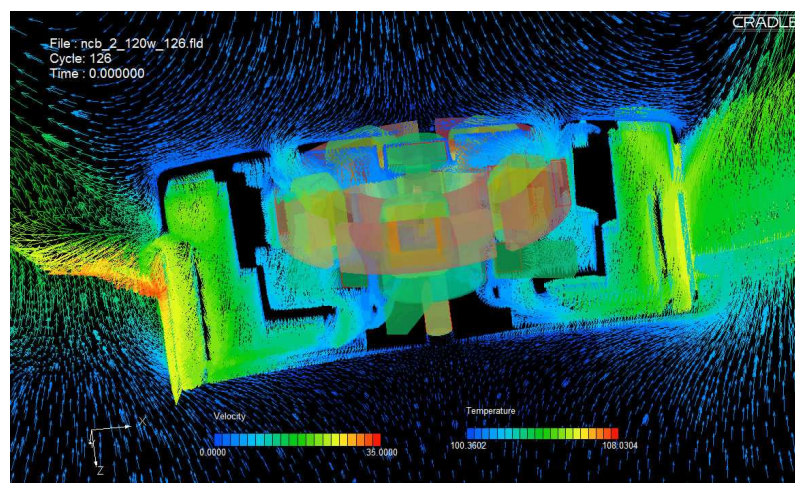


Ilustración 105: Temperatura del motor eléctrico y flujo de aire

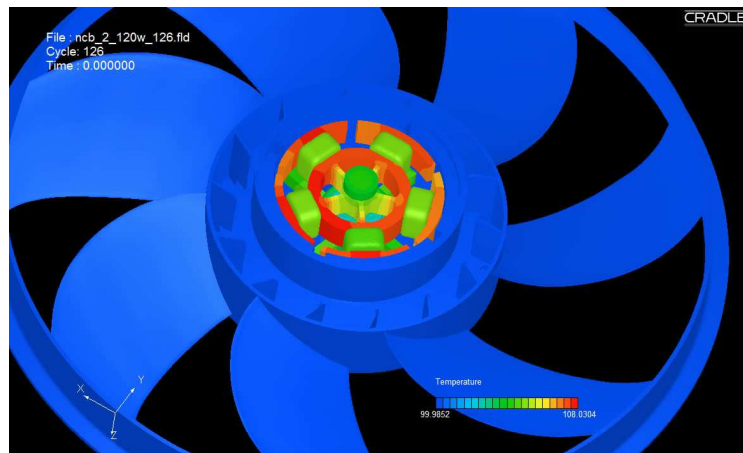


Ilustración 106: Temperatura de varios componentes

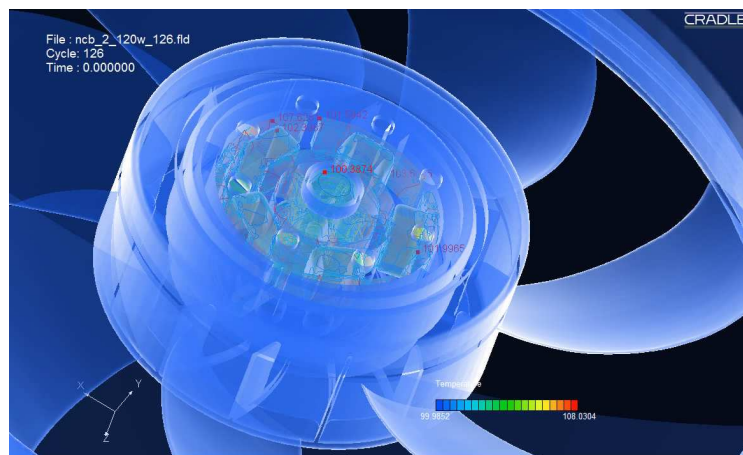


Ilustración 107: Temperatura del conjunto.

8.4 Simulaciones de inyección.

Una vez conseguida la geometría aerodinámica requerida el siguiente paso sería realizar una prueba de inyección con un programa especial para ello como por ejemplo el Moldflow o el Simpoe. Este paso es esencial y se le debe dar mucha importancia, ya que si el modelo no pudiera ser inyectable se debería cambiar todo el diseño de la pieza. Normalmente, al ser estos programas muy costosos, la simulación la realiza la empresa que se encargará de realizar el molde.

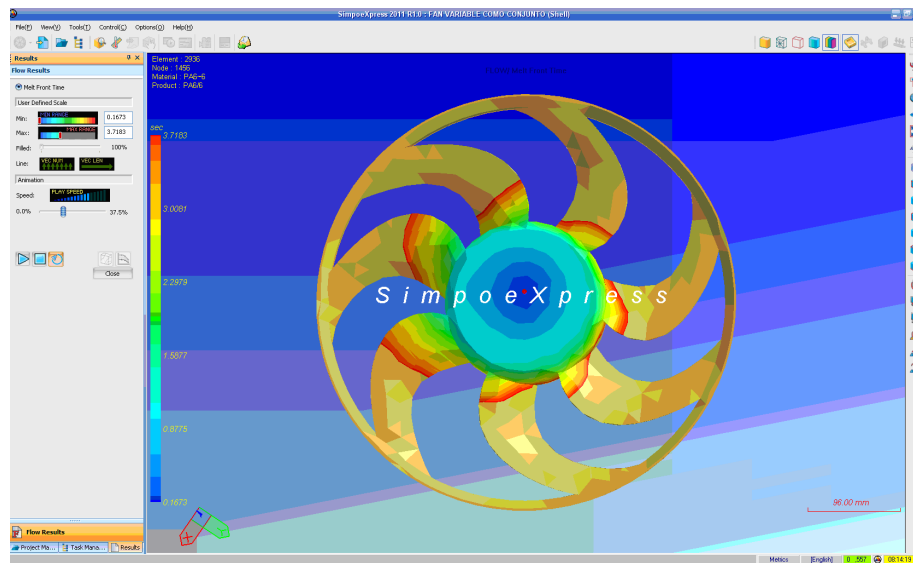


Ilustración 108 : Inyección del ventilador con SIMPOE

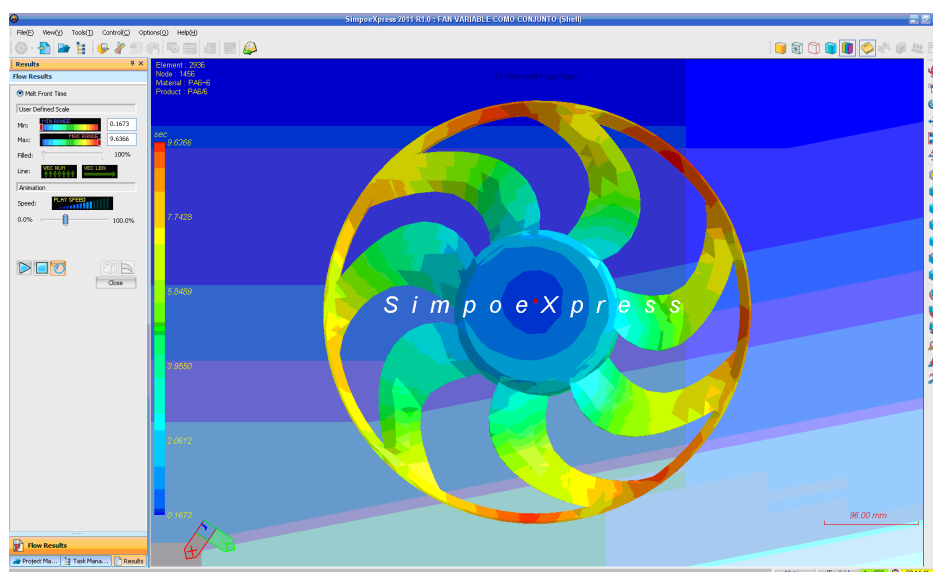


Ilustración 109 : Inyección finalizada del ventilador con SIMPOE

En estas imágenes de la simulación de inyección se puede ver como fluir el material, así como el tiempo que tardará en realizarse el proceso. También es muy importante conocer las zonas donde se van a producir las uniones en frío, es decir, zonas donde el material se va a unir a una temperatura menor con lo que existe el riesgo de que si la temperatura no es suficientemente alta se produzcan uniones menos fuertes.

8.5 Calculo estructural.

El siguiente paso será realizar el análisis estructural de las dos piezas, para ello se utilizará el modulo de calculo de elementos finitos de Catia V5 y el modulo estructural del CFD SC/tetra. Las pruebas a realizar para el ventilador y el soporte serán totalmente diferentes, debido a que los esfuerzos que deben soportar son de diferente naturaleza.

8.5.1 Cálculo estructural del ventilador.

En el caso del ventilador la fuerza centrífuga será la más crítica y la que debemos estudiar con más detalle. Esto es debido a las altas velocidades de giro del ventilador y del espesor de los álabes. Otro factor importante tanto en el ventilador como el soporte es la tendencia a utilizar el menor material posible para así aligerar el conjunto y tener una bajada importante en el coste. En la simulación obtenemos la siguiente información:

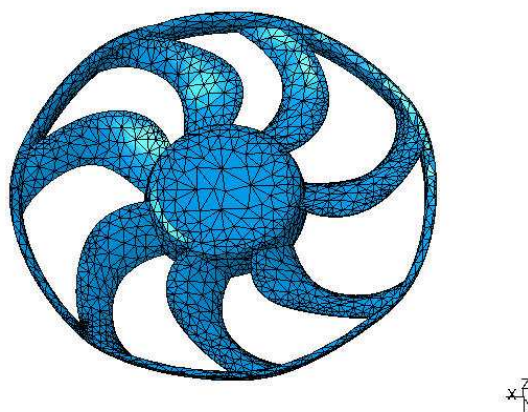


Ilustración 110 : Deformación del mallado

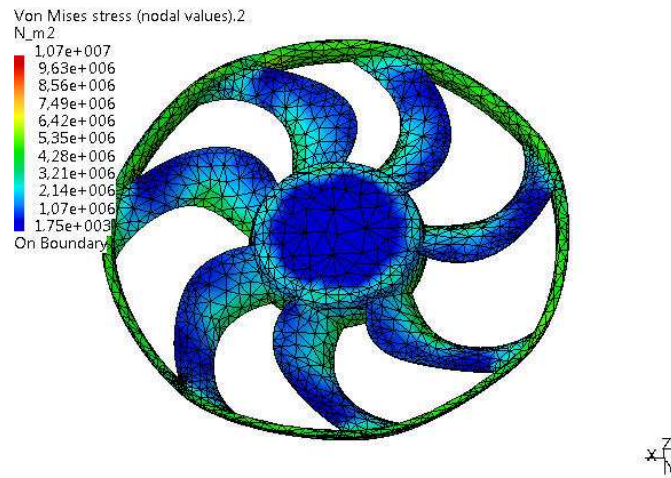


Ilustración 111 : Esfuerzos

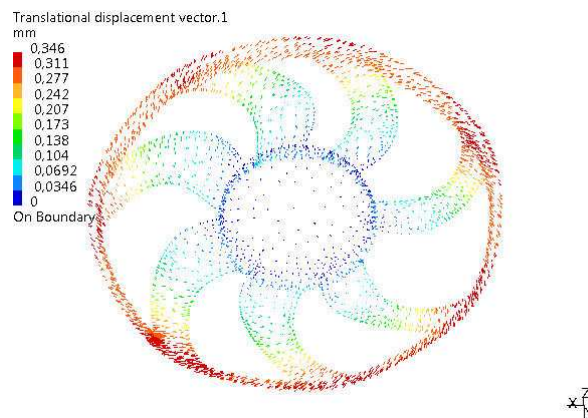


Ilustración 112 : Vector desplazamiento

8.5.2 Calculo estructural del soporte.

Para el cálculo estructural del soporte es muy importante fijar los anclajes donde se unirá con el radiador así como conocer el cuaderno de cargas de vibraciones de cada fabricante, debido a que para fabricante es diferente. Lo que si es muy importante es tener en cuenta que para el soporte es especialmente crítico ésta simulación, porque por una parte es una superficie tan irregular, es decir, con anclajes y demás elementos que provoca que deba tener muchas cavidades. Por otra parte debe soportar el movimiento del motor eléctrico anclado en tres puntos y a su vez todo el peso del GMV en 4 zonas de sujeción al radiador. En la simulación siguiente se pueden ver las vibraciones modales y la sollicitación de los esfuerzos según los vectores.

Mode	Frequency Hz	Tx (%)	Ty (%)	Tz (%)	Rx (%)	Ry (%)	Rz (%)
1	1.9287e+002	0.00	49.12	0.51	25.62	0.00	0.05
2	2.2512e+002	0.00	23.67	0.65	51.45	0.00	0.72
3	3.5053e+002	0.03	1.13	0.00	0.13	0.13	0.53
4	3.9154e+002	3.02	0.06	0.00	0.28	0.16	35.98
5	4.0413e+002	0.31	0.01	0.00	0.00	2.96	0.42
6	4.8439e+002	0.02	0.11	0.66	0.48	0.35	2.05
7	5.1720e+002	0.19	4.94	0.88	0.09	0.00	0.06
8	5.8783e+002	1.12	0.05	51.76	5.44	0.01	0.67
9	6.3578e+002	1.00	0.04	2.23	0.08	0.00	2.50
10	6.6840e+002	1.21	0.01	1.29	0.67	0.00	1.77
	Total	6.90	79.14	57.99	84.23	3.61	44.77

Tabla 14 : Solicitaciones de esfuerzos según vibraciones modales

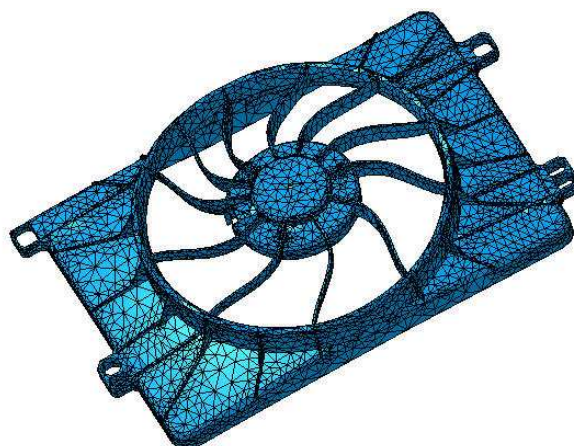



Ilustración 113 : Deformación según frecuencia modal 5.

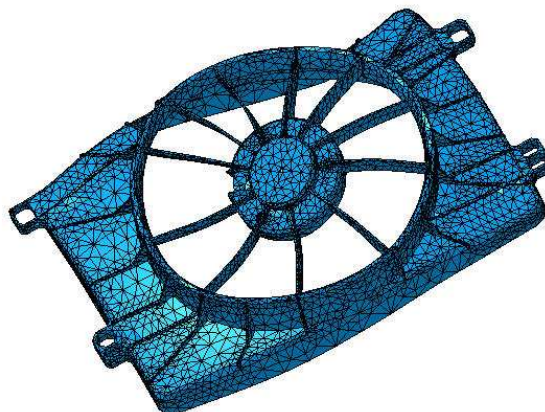



Ilustración 114 : Deformación según frecuencia modal 9

Estas imágenes son un ejemplo de en que dirección se deformaría el material bajo estas frecuencias.

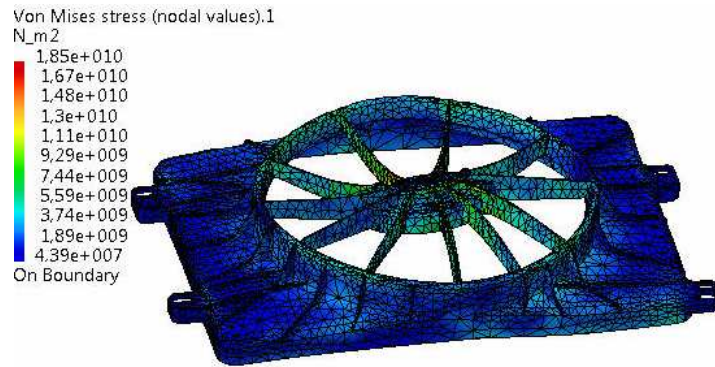


Ilustración 115 : Esfuerzos

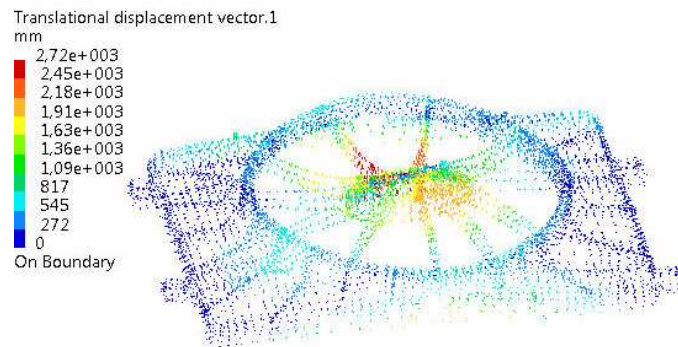


Ilustración 116 : Vector desplazamiento

Los valores que aparecen no son representativos en cantidad pero si en dirección de deformación.

9 Conclusión

En este proyecto se ha querido transmitir las bases para poder entender el diseño y funcionamiento de los componentes de un grupo moto-ventilador para la refrigeración del automóvil, apoyado en ejemplos de un proyecto real que todavía no está finalizado. Se ha de destacar que para realizar un diseño completo es necesario poder disponer de muchos recursos como son programas de simulación, laboratorios de ensayos y talleres de prototipos.

También decir, que es muy importante conocer la situación del mercado del automóvil a nivel mundial, así como las nuevas normativas en el ámbito de la contaminación para poder definir las líneas de trabajo a seguir. Estas bases consisten básicamente en conseguir reducir al máximo la temperatura de trabajo del motor del vehículo, desperdiciando el mínimo de energía posible para así reducir al límite las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera. La reducción de dichas emisiones nos marcará la línea de trabajo a seguir, debido a que cada vez las exigencias en cuanto a contaminación son mucho más exigentes.

En cuanto a las líneas de trabajo a seguir en este proyecto en concreto, una vez diseñado el ventilador, el siguiente paso sería definir todos los elementos que debe llevar el soporte para poder terminar el diseño con los respectivos cálculos estructurales y de inyección. Después de ello procederíamos a realizar un molde prototipo para poder inyectar las piezas en el material final para realizar todos los ensayos correspondientes. Quiero destacar los ensayos aerodinámicos y de ruido para el ventilador, y ensayos de vibraciones para el soporte.

Por último, una vez los prototipos superaran los ensayos se procedería a la fabricación en serie.

10 Ilustraciones, tablas, ecuaciones y gráficas.

10.1 Ilustraciones

Ilustración 1 : Estimación ventas de automóviles.....	11
Ilustración 2: Previsión ventas en Europa a corto plazo	13
Ilustración 3 : Previsión ventas en Europa a largo plazo	14
Ilustración 4 : Clasificación energía.....	16
Ilustración 5 : GMV soplante	17
Ilustración 6 : GMV aspirante.....	18
Ilustración 7 : GMV dual.....	18
Ilustración 8 : GMV single.....	19
Ilustración 9 : Esquema energía motor eléctrico	20
Ilustración 10 : Esquema motor corriente continua	21
Ilustración 11 : Curva Par-Velocidad de giro	22
Ilustración 12 : Punto funcionamiento motor.....	22
Ilustración 13: Esquema potencia de un motor eléctrico	23
Ilustración 14 : Distribución de pérdidas de un motor eléctrico	23
Ilustración 15 : Configuración motor brushless.....	24
Ilustración 16 : Motor brushless	25
Ilustración 17 : Configuración motor con escobillas.....	26
Ilustración 18 : Ventilador	27
Ilustración 19 : Soporte	28
Ilustración 20 : Esquema frontal del coche.....	31
Ilustración 21 : Pérdida de carga en el vehículo.....	32
Ilustración 22 : Punto de funcionamiento del GMV	32
Ilustración 23 : Dimensiones soporte	34
Ilustración 24 : Detalle fijaciones soporte-radiador	34
Ilustración 25 : Esquema cámara de ensayo de ventiladores DIN 24163.....	36
Ilustración 26 : Esquema cámara de ensayo según norma AMCA/ASHRAE	36
Ilustración 27 : Montaje para ensayo de GMV en cámara.....	38
Ilustración 28 : Relación dimensión axial con el diámetro del ventilador	39
Ilustración 29 : Diámetro interior y exterior.	40
Ilustración 30 : Estructura interior.....	41
Ilustración 31 : Borde de entrada y de salida	41
Ilustración 32 : Curvatura adelante.....	42
Ilustración 33 : Curvatura atrás	42

Ilustración 34 : Ángulo de barrido.....	43
Ilustración 35 : Ángulo entre palas	43
Ilustración 36 : Solidez	44
Ilustración 37 : Perfil alar	45
Ilustración 38 : Perfil alar	46
Ilustración 39 : Longitud cuerda	46
Ilustración 40 : Ángulo de ataque.....	48
Ilustración 41 : Ángulo en función del radio	48
Ilustración 42 : Ejemplo perfil anillo exterior	50
Ilustración 43 : Soporte	51
Ilustración 44 : Estructura con perfil alar.....	52
Ilustración 45 : Estructura simple	52
Ilustración 46 : Recirculación de aire.....	53
Ilustración 47 : Agujero de drenaje.....	53
Ilustración 48 : M-plat del eje	58
Ilustración 49 : M-plat del inserto del ventilador.....	58
Ilustración 50 : Unión M-plat.....	59
Ilustración 51 : Eje clavado a presión.....	59
Ilustración 52 : Tapa trasera con agujero para clavar el eje	60
Ilustración 53 : Drive plate sin montar	60
Ilustración 54 : Drive plate montado en el eje.....	60
Ilustración 55 : Conjunto montado con drive plate	61
Ilustración 56 : Posicionamiento orejas motor	61
Ilustración 57 : Motor montado con 3 tornillos	62
Ilustración 58 : Ranuras más agujero para tornillo.....	62
Ilustración 59 : Aerodinámica.....	63
Ilustración 60 : Aire acondicionado	63
Ilustración 61: Circuito eléctrico	64
Ilustración 62: Autopista	64
Ilustración 63 : Pesticida	64
Ilustración 64 : Reacción química	64
Ilustración 65 : Flujo.....	65
Ilustración 66 : Presión	65
Ilustración 67 : Remolinos	65
Ilustración 68 : Temperatura	65
Ilustración 69 : Flujo laminar y turbulento	67

Ilustración 70 : Generación de remolinos.....	67
Ilustración 71 : Perfil velocidades	68
Ilustración 72 : Soporte sin modificar.....	71
Ilustración 73 : Soporte modificado	71
Ilustración 74 : Mallado del dominio a estudiar.....	72
Ilustración 75 : Mallado del ventilador.....	72
Ilustración 76 : Mallado del perfil del ventilador.....	73
Ilustración 77 : Metodología para crear el mallado	73
Ilustración 78: Cálculo de K y ϵ	75
Ilustración 79 : Presión	79
Ilustración 80 : Presión	80
Ilustración 81 : Disipación de energía	80
Ilustración 82: Disipación energía.....	81
Ilustración 83 : Presión	82
Ilustración 84 : Presión	83
Ilustración 85 : Velocidad	84
Ilustración 86 : Conjunto para calculo del ventilador y parte exterior del motor....	86
Ilustración 87 : Detalle refuerzos Hub	86
Ilustración 88 : Esquema constructivo prueba 1	87
Ilustración 89 : Esquema constructivo prueba 2	87
Ilustración 90 : Presión prueba 1	87
Ilustración 91 : Presión prueba 2.....	88
Ilustración 92 : Gradientes de velocidad	88
Ilustración 93 : Gradientes de velocidad	89
Ilustración 94 : Detalle prueba 3	89
Ilustración 95 : Esquema constructivo prueba 3	90
Ilustración 96 : Presión prueba 3.....	90
Ilustración 97 : Velocidad prueba 3.....	90
Ilustración 98 : Esquema álabes	91
Ilustración 99 : Puntos utilizados.....	91
Ilustración 100 : Álabes 2, 1 y 3.....	92
Ilustración 101 : Velocidad de aspiración del álabes 1.....	93
Ilustración 102 : Velocidad de aspiración del álabes 2.....	93
Ilustración 103 : Velocidad de aspiración del álabes 3.....	93
Ilustración 104 : Sección de la temperatura dentro del motor eléctrico.....	95
Ilustración 105: Temperatura del motor eléctrico y flujo de aire	95

Ilustración 106: Temperatura de varios componentes	96
Ilustración 107: Temperatura del conjunto.	96
Ilustración 108 : Inyección del ventilador con SIMPOE	97
Ilustración 109 : Inyección finalizada del ventilador con SIMPOE	97
Ilustración 110 : Deformación del mallado	98
Ilustración 111 : Esfuerzos	99
Ilustración 112 : Vector desplazamiento	99
Ilustración 113 : Deformación según frecuencia modal 5.	100
Ilustración 114 : Deformación según frecuencia modal 9	100
Ilustración 115 : Esfuerzos	101
Ilustración 116 : Vector desplazamiento	101

10.2 Tablas

Tabla 1: Requisitos de aerodinámicos.....	33
Tabla 2 : Datos obtenidos en cámara de viento	37
Tabla 3 : Diámetro del hub	40
Tabla 4 : Arqueo del perfil a lo largo de la cuerda	47
Tabla 5 : Distribución de espesor a lo largo de la cuerda	49
Tabla 6 : Espesor máximo según radio	49
Tabla 7: Datos aerodinámicos ventilador 1.....	77
Tabla 8 : Datos aerodinámicos ventilador 2.....	78
Tabla 9 : Datos aerodinámicos ventilador 3.....	81
Tabla 10 : Datos aerodinámicos ventilador final.....	83
Tabla 11 : Tabla para ángulos de los triángulos de velocidades.	92
Tabla 12 : Pérdidas en el motor eléctrico	94
Tabla 13 : Propiedades térmicas de los materiales	95
Tabla 14 : Solicitaciones de esfuerzos según vibraciones modales.....	100

10.3 Fórmulas

Ecuación 1 : Rendimiento GMV.....	19
Ecuación 2 : Rendimiento GMV.....	19
Ecuación 3: Rendimiento GMV.....	20
Ecuación 4 : Rendimiento motor eléctrico	23

Ecuación 5 : Potencia aerodinámica del ventilador	27
Ecuación 6 : Balance de presión	30
Ecuación 7 : Balance de presión	31
Ecuación 8: Diferencia de presión	37
Ecuación 9 : Ratio	40
Ecuación 10 : Solidez	44
Ecuación 11 : Radio medio.....	44
Ecuación 12 : Potencia sonido	54
Ecuación 13 : Nivel sonoro.....	54
Ecuación 14 : Potencia sonido	55
Ecuación 15 : Nivel sonoro.....	55
Ecuación 16 : Potencia sonido	55
Ecuación 17 : Nivel sonoro.....	55
Ecuación 18 : Número de Mach	66
Ecuación 19 : Condición	66
Ecuación 20 : Número de Reynolds	68
Ecuación 21 : Navier-stokes.....	69
Ecuación 22 : Ecuación de la continuidad.....	70
Ecuación 23 : Conservación de la energía	70

10.4 Gráficas

Gráfica 1 : Curva característica	38
Gráfica 2 : Curva característica ventilador 1.....	78
Gráfica 3 : Curva característica ventilador 2.....	79
Gráfica 4 : Curva característica ventilador 3.....	82
Gráfica 5 : Curva característica ventilador final.....	84
Gráfica 6 : Comparación de los 3 resultados	94

11 Bibliografia

11.1 Libros

Título: Basics of CFD Analysis

Autor: Cradel company

Editorial: Software Cradle Co.

Año: 2009

Título: Operational Manual

Autor: Cradel company

Editorial: Software Cradle Co.

Año: 2009

Título: Preprocessor Reference

Autor: Cradel company

Editorial: Software Cradle Co.

Año: 2009

Título: Solver Reference

Autor: Cradel company

Editorial: Software Cradle Co.

Año: 2009

Título: Postprocessor Reference

Autor: Cradel company

Editorial: Software Cradle Co.

Año: 2009

Título: Norma DIN 24163

Año: 1985

Título: Norma DIN EN ISO 5167

Año: 2004

Título: The Basics of axial flow fans

Autor: Hudson company

Año: 2009

Título: Maximizing Fan Performance Postprocessor Reference

Autor: Monroe, Robert

Año: 1997

Título: Principles of Computational Fluid Dynamics

Autor: P. Wesseling

Editorial: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

Año: 2000

Título: Fluid Dynamics and Heat Transfer of Turbomachinery

Autor: Budugur Lakshminarayana

Editorial: John Wiley & Sons

Año: 1995

Título: Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery

Autor: S. L. Dixon

Editorial: Butterworth-Heinemann

Año: 1998

Título: CFD and Engine Modelling

Autor: Society Of Automotive Engineers Incorporated

Editorial: Society Of Automotive Engineers Incorporated

Año: 1996

Título: Handbook of Grid Generation

Autor: Joe F. Thompson, Bharat Soni and Nigel P. Weatherill

Editorial: CRC Press

Año: 1998

Título: Blade element theory

Autor: Prof. Dr. Mustafa Cavcar

Editorial: Anadolu University,

Año: 2000

Título: Aero-Acoustical concepts applicable to fan design

Autor: P.Charbonnelle

Año: 1994

Título: Analyse Aeroacoustique des ventilateurs de refroidissement pour l'automobile

Autor: Ahmad Alizadeh and Mustapha Belhabib

Editorial: Valeo - Systèmes thermiques

Año: 1995

Título: Influence of blade sweep on the noise of low-speed Fan

Autor: A.Guedel & N. Yazigi

Editorial: Internacional INCE Symposium

Año: 1992

Título: Bruit des ventilateurs axiaux couplés à un échangeur de chaleur

Autor: A. Guedel

Editorial: Approfondissans

Año: 1996

11.2 Páginas web

http://es.wikipedia.org/wiki/Norma_europea_sobre_emisiones

http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global

http://www.engineeringtoolbox.com/fluid-mechanics-t_21.html

<http://www.cfd-online.com>

<http://www.pdas.com/naca456thick6.html>

<http://www.moorefans.com/>

<http://www.ae.uiuc.edu/m-selig/ads.html>

<http://www.dreesecode.com/>

<http://www2.basf.us//PLASTICSWEB>

<http://www.csm.auto>

11.3 Otros documentos

Al margen de consultar los otros libros y páginas de Internet he obtenido mucha información mediante formaciones que he realizado internamente en la empresa

Nidec M&A y también gracias a nuestros proveedores. Esto es debido a que para el diseño de ventiladores para esta aplicación no hay gran información.

Varias de estas formaciones han sido:

Motores eléctricos

Cálculo de motores eléctricos

Funcionamiento de un GMV

Materiales electromagnéticos

Materiales plásticos

Inyección de piezas de plástico

Fabricación de moldes

Radiadores

Contaminación acústica